

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE

PRÉSENTÉ À  
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

COMME EXIGENCE PARTIELLE  
DE LA MAÎTRISE EN SCIENCES DE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE

PAR  
CARL BEAUMIER

L'IMPACT DE L'UTILISATION D'UN CALE-PIED DANS LA  
TRANSMISSION DES FORCES DU PAGAYEUR EN KAYAK DE VITESSE

FÉVRIER 1994

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire ou de cette thèse a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire ou de sa thèse.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire ou cette thèse. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire ou de cette thèse requiert son autorisation.

## RÉSUMÉ

Des études ont révélé l'importance des membres inférieurs pour la transmission des forces et la stabilisation de l'embarcation en kayak de vitesse. Toutefois, on ignore leur contribution directe en termes de force transmissible au bateau. On peut dès lors se demander si l'utilisation d'un cale-pied, barre où prennent appui les pieds, a un impact sur les forces de traction du kayak et sur celles de rotation exercées contre le siège du kayak.

Huit sujets, quatre de chaque sexe, d'une moyenne d'âge de 16,5 ans et de calibre élite (trois ans et plus d'expérience de compétition), ont participé à cette étude. Quatre séries de trois essais, totalisant 12 essais par sujet, ont été enregistrées. Ces 12 essais représentaient la combinaison des deux conditions de la variable indépendante, soit un total de six essais avec cale-pied et six autres sans cale-pied. Chaque essai avait une durée de 10 secondes et fut enregistré à un taux d'échantillonnage de 60 Hz.

Les résultats démontrent qu'il y a eu une augmentation significative de 11,41% des forces de traction exercées par le kayakiste lorsque ce dernier utilisait un cale-pied ( $F(1,7) = 21,87; p < 0,01$ ). Plus spécifiquement, on a obtenu une augmentation moyenne de 16,05% chez les sujets de sexe féminin comparativement à 9,03% chez ceux de sexe masculin.

Pour les forces de rotation exercées contre le siège, on a obtenu une augmentation significative avec l'utilisation du cale-pied, soit 89,17% pour l'ensemble des huit sujets ( $F(1,6) = 32,37; p < 0,01$ ). Cette augmentation était

de 112,07% pour les sujets de sexe féminin comparativement à 70,26% pour ceux de sexe masculin, une différence avérée non significative. Contrairement à Beaudou (1987), on peut supposer que la relation entre la force de propulsion du pagayeur et la stabilité du bateau est parabolique. Les sujets féminins ayant une marge d'amélioration plus grande bénéficient de l'apport du cale-pied. Quant aux sujets masculins, très performants dans notre cas, leur ratio travail : effort est optimal, et tout accroissement de vitesse ou de mouvement, grâce au cale-pied, serait compensé par de la turbulence ou l'instabilité du kayak, ce qui explique le bénéfice réduit du cale-pied dans ce cas.

Cette étude montre donc que l'utilisation d'un cale-pied a un impact important sur la transmission des forces en kayak de vitesse, en accentuant ou en valorisant la contribution des membres inférieurs.

## REMERCIEMENTS

Mes remerciements et toute ma gratitude vont à mon directeur de recherche, Jacques Dessureault Ph.D., professeur au Département des sciences de l'activité physique (DSAP), pour son aide, sa patience et pour ses connaissances prodiguées afin de mener à terme ce présent document. À mon co-directeur de recherche, Louis Laurencelle Ph.D., également professeur au DSAP, pour ses judicieux conseils lors de l'analyse des résultats et pour sa disponibilité.

Je tiens aussi à remercier Claude Brouillette, technicien en électronique au DSAP, pour son apport technique à la fabrication du siège de kayak, sa disponibilité pour l'expérimentation et son aide dans le traitement informatique des résultats. Merci aux sujets pour leur patience et leur disponibilité, ainsi qu'à Jean-Daniel Mbougou, étudiant à la maîtrise, pour son aide tout au long de ce mémoire. Également, je veux souligner le support technique de Denis Marchand, étudiant au doctorat, ainsi que l'appui de l'École Secondaire Le Tremplin de la Commission Scolaire Samuel-de-Champlain, pour la location de la piscine.

## TABLE DES MATIÈRES

	PAGE
RÉSUMÉ .....	ii
REMERCIEMENTS .....	iv
LISTE DES TABLEAUX .....	vii
LISTE DES FIGURES.....	viii
 CHAPITRES	
I. INTRODUCTION .....	1
But .....	4
Problème .....	5
Hypothèses .....	5
Limite de l'étude.....	5
 II. RÉCENSION DES ÉCRITS .....	 7
Système de force.....	14
Effet de la pagaie .....	16
Notion de dynamique.....	18
Transmission des forces.....	20
 III. MÉTHODOLOGIE.....	 22
Sujets.....	22
Appareillage.....	22
Plan de la recherche .....	25
Déroulement de l'expérience .....	26

IV.	RÉSULTATS .....	28
	Analyse des résultats .....	28
	Résultats obtenus.....	32
	Force de traction du kayak.....	30
	Force de rotation exercée contre le siège .....	34
V.	DISCUSSION.....	37
	Conclusion .....	40
	RÉFÉRENCES .....	42
	ANNEXES	
	A. Formulaire de consentement .....	44
	B. Consignes aux sujets.....	46
	C. Figures .....	48

## LISTE DES TABLEAUX

TABLEAUX	PAGE
1. Données anthropométriques des sujets .....	23
2. Arrangement des séances expérimentales .....	25
3. Forces de traction moyenne .....	30
4. Analyse de variance des forces de traction .....	32
5. Forces de rotation moyennes exercées contre le siège .....	35
6. Analyse de variance des forces de rotation exercées contre le siège.....	36



## LISTE DES FIGURES

FIGURES	PAGE
1. Les quatre phases du mouvement d'un kayakiste .....	8
2. Surface de projection de la pale selon l'angle de la pagaie.....	12
3. Système global des forces bateau-pagaie-pagayeur .....	15
4. Surface projetée de la pale selon la position et les plans de mouvement du pagayeur .....	16
5. Variation du point de pivot de la pagaie lors de la propulsion .....	18
6. Schéma du montage expérimental .....	24
7. Principales courbes servant à l'analyse des résultats .....	29
8. Forces moyennes de traction par sexe .....	34
9. Position du kayakiste .....	49
10. Trois types de pagaies: conventionnelle, "wing" et "turbo" .....	50
11. Cale-pied d'un kayak de vitesse.....	51
12. Siège de kayak ayant servi lors de l'expérimentation .....	52
13. Piscine intérieure où a eu lieu l'expérimentation.....	53

14.	Equipements et appareillages .....	54
15.	Montage électronique du siège de kayak.....	55
16a.	Forces de rotation moyennes exercées contre le siège (sujets masculins) .....	56
16b.	Forces de rotation moyennes exercées contre le siège (sujets féminins).....	56

## CHAPITRE I

### INTRODUCTION

Le canoë-kayak est un sport méconnu qui, pourtant, a fait son entrée sur la scène olympique en 1936 avec les épreuves de course en ligne (Morlino, 1988). Après une évolution progressive des équipements et des techniques d'entraînement, ce sport est devenu très spécialisé, surtout avec la poussée technologique des dernières années (Anderson, 1989; Haught, 1989). Depuis 1980, plusieurs records du monde ont été améliorés, autant sur 500 que sur 1000 mètres (Morlino, 1988). Il semble que l'aspect technique soit le grand responsable de cette remarquable progression, même si d'autres facteurs tels que la préparation physique, tactique et psychologique y soient pour quelque chose (Ariel, 1979).

Pour les fins de cette recherche, nous nous intéressons plus spécifiquement à la discipline du kayak. L'embarcation est propulsée à l'aide d'une pagaie double et le pagayeur est assis au centre (Figure 9, Annexe C). Le kayak olympique de vitesse est fabriqué, de nos jours, afin d'atteindre la plus grande vitesse possible, c'est-à-dire qu'il possède un coefficient de traînée très faible (Anderson, 1989; Haught, 1989).

Un bref historique permettra de tracer l'évolution du kayak et l'apparition du cale-pied. Les Eskimos, habitant les côtes arctiques du continent Nord-Américain en Alaska et au Groenland, il y a plus de 30 000 ans, inventèrent le kayak comme mode de transport et surtout pour la chasse en mer. Le kayak était

fait d'une structure de bois recouverte de peau de phoque, offrant une seule ouverture par où s'introduire, au centre. Une pagaie double était utilisée comme engin de propulsion (Bridge, 1978).

Avec les années, des améliorations ont été apportées au kayak, tant dans sa forme que par l'ajout d'accessoires comme le siège, les coussinets pour les genoux et les courroies aux pieds (Bridge, 1978). Ces modifications avaient pour but d'améliorer le confort et la stabilité du pagayeur. La diversification vint plus tard, apportant les kayaks de descente, de slalom, de lac, de vitesse, de mer, etc (Dransart et Gaud-Petit, 1976). C'est à partir de ce moment que les accessoires des différents types de kayaks ont changé en fonction des besoins spécifiques du pagayeur. Ainsi est apparu le cale-pied pour le kayak de vitesse, remplaçant le système de courroies aux pieds.

La plupart des cale-pieds sont fabriqués en bois et sont retenus par des tiges d'aluminium ou de plastique de chaque côté du kayak (Dransart et Gaud-Petit, 1976). Le cale-pied est ajustable et, une fois ajusté, ne permet aucun mouvement. En fait, le cale-pied est composé d'une barre transversale et d'une courroie permettant de fixer les pieds solidement sur celui-ci. On l'utilise surtout en kayak de lac et de vitesse.

Même si les kayaks des années '80 sont très performants, il reste que l'athlète doit trouver une technique lui permettant d'atteindre et de maintenir cette vitesse maximale avec le moins d'effort physique possible, cherchant ainsi à augmenter son efficacité mécanique (Fadiman, 1990; Pendergast et al., 1989; Dal Monte et Leonardi, 1975; Beaudou, 1987).

Afin d'augmenter l'efficacité mécanique du pagayeur, plusieurs facteurs sont à considérer. Par exemple, avec l'arrivée d'une nouvelle pagaie "*wing*" (Figure 10, Annexe C) inventée en Suède en 1985, la technique du kayakiste a grandement évolué en utilisant le principe d'aile d'avion, soit l'effet de portée (Fadiman, 1990). Plus longue est la distance d'application de la force maximale dans l'eau, plus grand va être le changement de vitesse du bateau (Mann et Kearney, 1980). D'autres facteurs, tels l'équilibre latéral et longitudinal du bateau (contrôlé par le pagayeur), un déplacement du centre de gravité exagéré vers l'avant (plus de 15° autour de l'axe latéral), le rythme du pagayeur, le recouvrement de la pagaie à la sortie de l'eau, sont tous considérés comme paramètres pouvant influencer l'efficacité du pagayeur (Benson, 1975).

La compilation de plusieurs études (Benson, 1975; Plagenhoef, 1979; Matsui et Kobayashi, 1981; Kearney et al., 1979; Beaudou, 1987; Hoyt, 1988) révèle l'importance des angles de pagaie par rapport à l'eau, de la position du corps et des segments dans chacune des phases du mouvement ainsi que de la durée du coup de pagaie en regard du recouvrement.

Parmi tous ces facteurs, peu de chercheurs ont étudié la provenance des forces, c'est-à-dire les systèmes globaux des forces appliquées en kayak. L'étude de Beaudou (1987) présente un système de forces bateau-pagaie-pagayeur en déplacement. Toutes les forces de ce système sont transmises au bateau par le système de calage ou cale-pied, constitué par une barre transversale au kayak et servant d'appui aux pieds (Figure 11, Annexe C). Le système de calage a deux fonctions, soit la transmission des forces à partir de la pagaie en passant par le siège (Figure 12, Annexe C) et le cale-pied jusqu'à la propulsion du bateau, ainsi

que la stabilité du bateau assurée par le pédalage des membres inférieurs prenant appui sur le cale-pied. Le haut du pied imprime des forces de transmission surtout antéro-postérieures par le cale-pied. Ces forces s'ajoutent aux forces propulsives globales et stabilisent donc le kayak.

Sachant que les forces du kayakiste transmises au bateau passent par les membres inférieurs, il serait intéressant de vérifier leur contribution dynamique dans le système global des forces du kayakiste.

L'étude de Holt et Logan (1985) montre que les muscles extenseurs du genou (les quadriceps) et de la hanche (ischio-jambiers et grand fessier) ainsi que ceux responsables de la flexion plantaire (jumeaux) de la même jambe sont fortement utilisés durant la phase de propulsion du pagayeur. Les muscles permettant la dorsi-flexion du pied opposé sont aussi stimulés. Par contre, cette étude ne nous permet pas d'évaluer la contribution des membres inférieurs dans l'effort global du kayakiste.

### But

La présente étude devrait nous permettre de déterminer l'importance des membres inférieurs en kayak de vitesse, leur contribution étant étudiée selon que le kayakiste utilise ou non un cale-pied.

Afin de répondre à cet objectif, on a attaché un kayak monoplace de vitesse à un banc fixe à l'aide d'un câble de nylon, en piscine intérieure. Les sujets devaient alors, en maintenant leur position constante, réaliser les deux niveaux de la variable indépendante, soit pagayer sur place avec ou sans cale-pied, selon un ordre de traitements aléatoire et prédéterminé; l'on mesurait

notamment la traction totale exercée par le kayak sur le banc fixe (variable dépendante principale).

### Problème

L'utilisation d'un cale-pied influence présumément la force transmise par les membres inférieurs dans l'effort du pagayeur. Nous étudierons donc la variation de force résultante dans le mouvement du pagayeur selon qu'il utilise ou non un cale-pied. De plus, les forces appliquées par le kayakiste contre le siège du kayak (forces antéro-postérieures et de rotation) recevront une attention particulière (variable dépendante secondaire).

### Hypothèses

Les hypothèses suivantes sont donc formulées à titre exploratoire:

1. La force de traction (impulsion en N•s) exercée par le kayak, lorsque le kayakiste utilise un cale-pied, est supérieure lorsque comparée à la force exercée sans utilisation d'un cale-pied.
2. Les forces antéro-postérieures et de rotation (moment de force autour de l'axe vertical) exercées contre le siège lorsque le kayakiste utilise un cale-pied, sont supérieures à celles observées sans cale-pied.

### Limite de l'étude

Cette étude se limite aux paramètres présentés précédemment. Le fait que le kayak soit fixé (et non en déplacement) peut causer une certaine instabilité du kayak et donc du pagayeur. Malgré le fait que l'étude se déroule dans des

conditions relativement bien contrôlées, certains facteurs comme la chaleur à l'intérieur du bâtiment abritant la piscine, la fatigue des sujets, l'eau sur les appareils électroniques, le contre-coup du kayak entre chaque coup de pagaie, etc., peuvent influencer la qualité, la précision ou la validité des enregistrements.

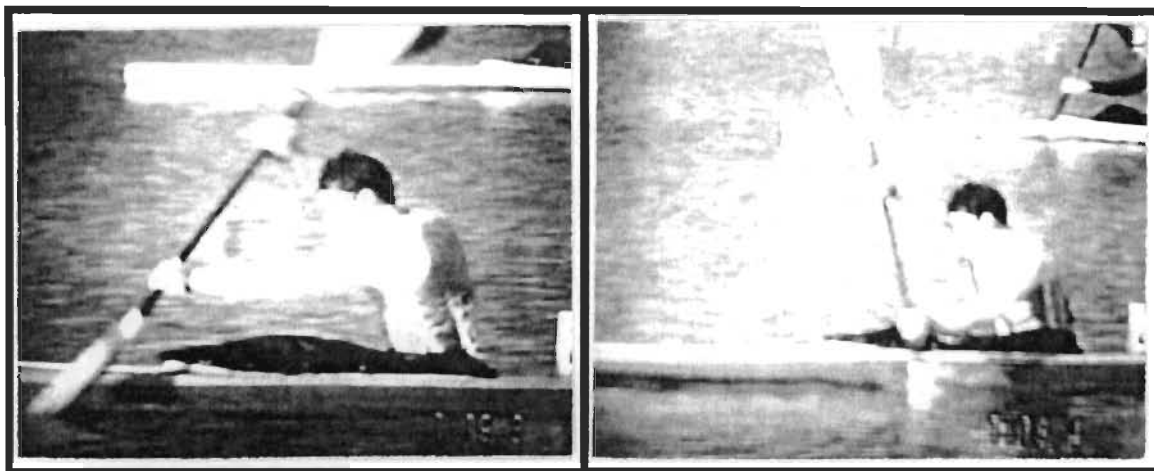


## CHAPITRE II

### RÉCENSION DES ÉCRITS

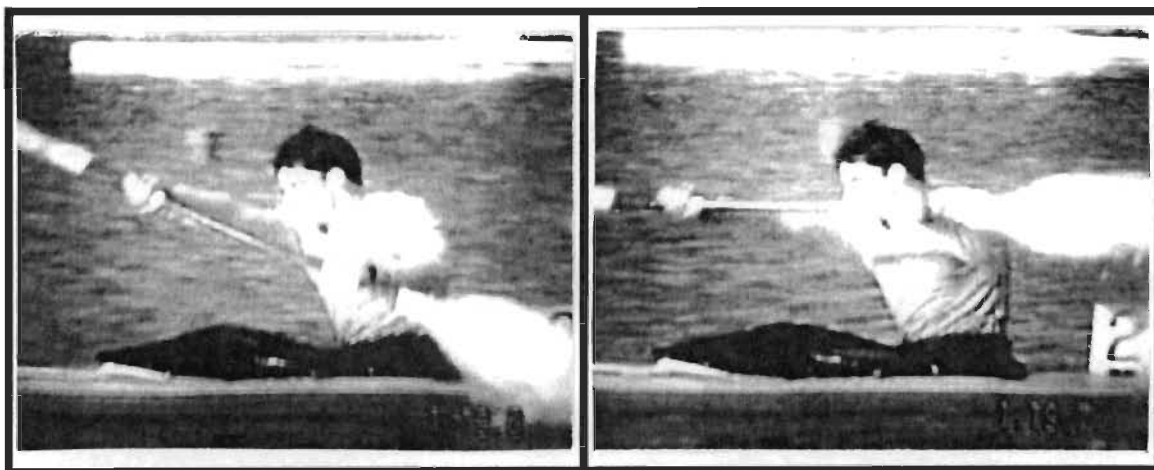
La compréhension des divers éléments spécifiques au kayak de vitesse est essentielle à l'analyse et à la description des concepts véhiculés dans le présent mémoire. Avant de référer aux phases du mouvement d'un kayakiste, nous devons d'abord bien les identifier. Plagenhoef (1979) présente le mouvement du kayakiste en quatre phases (Figure 1). La première phase, l'entrée, permet de fixer l'appui. La deuxième phase, la propulsion, permet de déplacer le kayak par rapport au point d'appui qu'est la pagaie. La troisième phase, la sortie, permet d'extraire la pagaie de l'eau et de l'amener dans une position horizontale. La quatrième phase, le recouvrement, sert à positionner le corps en fonction de la prochaine entrée du côté opposé.

Chacune de ces phases demande une sollicitation différente des muscles selon la position du corps. L'étude de Holt et Logan (1985) démontre que c'est lors de la phase de propulsion que les muscles des membres inférieurs sont le plus fortement sollicités. Pour un coup de pagaie à gauche, on remarque pour le membre inférieur gauche une forte extension de la hanche (le grand fessier et les ischio-jambiers), une extension du genou (les quadriceps) et une flexion plantaire du pied contre le cale-pied (jumeaux et soléaire). Pour le membre inférieur droit, avec l'aide d'une courroie sur le cale-pied qui retient les pieds en place, on note une flexion dorsale du pied (tibial antérieur, extenseur commun des orteils et long péronier latéral), une flexion du genou (les ischio-jambiers), flexion de la



**POSITION 1: L'entrée**

**POSITION 2: La propulsion**



**POSITION 3: La sortie**

**POSITION 4: Le recouvrement**

Figure 1. Les quatre phases du mouvement d'un kayakiste (Champion olympique Zsolt Gyulay de la Hongrie lors de la finale du K-1 500 mètres aux Jeux Olympiques de Séoul en 1988).

hanche (posas-iliaque, droit antérieur et pectiné) et une abduction horizontale (fascia lata).

Ceci a pour effet de tourner le bassin sur le siège, aidant ainsi à positionner le tronc correctement. Durant les trois autres phases du mouvement, on note plutôt une contraction isométrique des membres inférieurs car la majeure partie du mouvement vient du tronc et des membres supérieurs durant ces phases.

Hoyt (1988) relate les principales conclusions tirées de plusieurs articles scientifiques. Premièrement, la pale de la pagaie doit entrer et sortir de l'eau sans mouvement avant ou arrière lorsque la force maximum est appliquée par le corps (Plagenhoef, 1979). Deuxièmement, la qualité et l'efficacité du coup de pagaie semblent être influencées selon la main qui contrôle la pagaie. En effet, on constate que le côté de la main contrôle semble toujours plus efficace que l'autre. Troisièmement, la majorité des meilleurs kayakistes croise la pagaie du côté opposé à l'aide d'une rotation du tronc, permettant ainsi une sortie plus efficace de la pagaie. Quatrièmement, le meilleur angle d'entrée de la pagaie est de 140 à 145 degrés par rapport à la surface de l'eau prise dans le plan sagittal du mouvement du kayakiste. Cinquièmement, enfin, le tronc et la main contre-latérale se préparant à la tirée de la pagaie doivent se déplacer vers l'avant afin de préparer une solide phase de propulsion.

D'autres études, cette fois par Mann et Kearney (1980), ont montré que le tronc doit se placer de manière à solliciter les groupes musculaires les plus importants comme les muscles du dos, des épaules, du cou et de la poitrine. Ceci est rendu possible par l'apport des membres inférieurs (flexion de la hanche et

du genou du membre inférieur correspondant au côté du coup de pagaie) qui, par leurs mouvements, permettent le déplacement des hanches et ainsi la rotation du tronc (lors de la phase de recouvrement).

De plus, la majeure partie de la puissance d'un coup de pagaie, lors de la phase de propulsion, est obtenue par la contre-rotation des épaules, du tronc et des hanches (Kearney et al., 1979). Benson (1975) explique que, lors de la tirée (phase de propulsion), les forces provenant des bras, épaules, tronc, hanches, membres inférieurs, sont transmises au kayak et qu'il ne devrait y avoir aucun contact des genoux avec l'embarcation. Il mentionne aussi qu'une extension complète des membres inférieurs dans le kayak entraînerait une perte de stabilité ainsi qu'une dispersion des forces due au contact des jambes dans le fond du kayak.

Matsui et al. (1981) ont démontré, par une analyse de six pagayeurs de niveau olympique, que l'angle de flexion des genoux, lors du pédalage des membres inférieurs dans une performance, variait entre 120 et 135 degrés. La combinaison des mouvements du tronc et des jambes de façon alternative entraîne une variation angulaire d'environ 20 degrés à la hanche, soit de 60 à 80 degrés (vue dans le plan sagittal). La tirée de la pagaie a pour effet de faire avancer la hanche vers l'avant mais la poussée de la jambe permet de contrer cette force. De plus, du côté de la poussée (i.e. la main contre-latérale), la force tend à amener la hanche du même côté vers l'arrière, ce qui est contré par la rotation avant de cette hanche. C'est pour cette raison qu'il est conseillé d'utiliser une courroie sur le cale-pied afin de bien fixer les pieds sur celui-ci.

En fait, la puissance appliquée par le kayakiste à partir de la pagaie doit passer par un système *Robe Goldberg* i.e. impliquant indirectement les muscles, segments et articulations principales (main, avant-bras, bras, épaule, tronc, hanche, cuisse, jambe, pied) avant que l'embarcation puisse se déplacer (Fadiman, 1990). Les fesses seraient le pivot de la transmission de ces forces (avec l'aide des membres inférieurs).

Afin de pouvoir transmettre un maximum de force au kayak, la pale de la pagaie doit être fixée solidement à l'eau (point d'appui). Tout déplacement, même léger, de la pale cause une perte d'efficacité mécanique (Fadiman, 1990). Selon des principes géométriques de base (la surface de projection de la pale varie en fonction de l'angle de la pagaie, Figure 2), le kayakiste doit maintenir la pagaie le plus verticalement possible durant les trois premières phases du mouvement afin de rendre son appui plus solide.

Avant l'avènement de la nouvelle pagaie "*wing*" inventée en Suède en 1985, le meilleur moyen pour obtenir un appui solide était de tirer la pagaie directement vers l'arrière. En fait, on tentait de planter solidement la pale (i.e. verticalement) avant de tirer (Fadiman, 1990). On appliquait la troisième loi de Newton (action-réaction) en tirant la pagaie en ligne droite. Mais depuis l'invention de la "*wing*", basée sur le principe de Bernoulli, la technique du kayakiste a bien changé. Cette nouvelle pale fonctionne selon le même principe que celui utilisé sur les ailes d'avion, à savoir par différence des pressions exercées de chaque côté de la pale. L'athlète doit immerger la pale près du bateau pour ensuite l'éloigner latéralement au fur et à mesure que le kayak

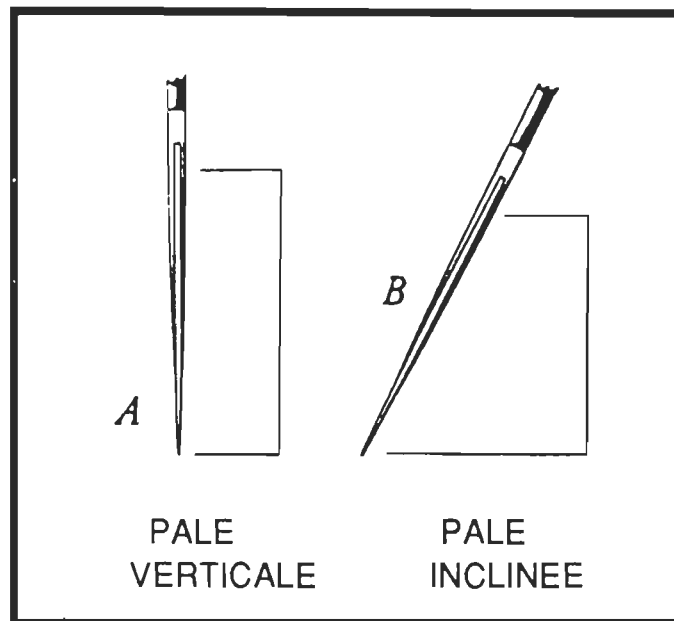


Figure 2. Surface de projection de la pale selon l'angle de la pagaie (Fadiman, 1990).

avance. On remarque même que la pale sort en avant de l'endroit où elle était entrée (Fadiman, 1990).

Cette modification technique a eu pour effet, au début, de favoriser les athlètes plus puissants au détriment des athlètes misant sur la finesse. C'est pour cette raison que la technique a évolué rapidement. Les kayakistes doivent maintenant accentuer leur transfert de poids sur la pagaie lors de la phase d'entrée. Ce qui déplace leur centre de gravité vers l'avant et permet d'appliquer plus de force sur la pagaie. Étant donné que les membres supérieurs ne permettent pas de produire toute la puissance requise pour faire avancer le kayak à haute vitesse, c'est le tronc en rotation qui doit effectuer le travail avec ses grandes masses musculaires (Fadiman, 1990). Pour cette raison, on retrouve maintenant

des athlètes moins puissants sur la scène internationale, ceux-ci contrôlant bien ces éléments techniques.

Les chercheurs Mann et Kearney (1979) avaient déjà étudié le principe voulant que les masses musculaires importantes devaient être utilisées au maximum. À partir du principe stipulant que plus grande est la distance suivant laquelle la force maximale est appliquée, plus grand est le changement de vitesse, ils ont démontré que le tronc doit être placé dans la position la plus avantageuse afin d'obtenir un coup de pagaie mécaniquement plus efficace. Le genou et la hanche du côté de la tirée sont fléchis, amenant ainsi une rotation accrue du tronc et donc des épaules, ce qui place le corps dans la position voulue. C'est à partir de cette position que le kayakiste doit immerger la pale le plus rapidement possible (phase 1) pour ensuite maintenir la pagaie perpendiculaire à l'eau sur la plus grande distance possible (phase 2) avant de la retirer de l'eau (phase 3). La phase de recouvrement (phase 4) va donc servir à repositionner le corps pour le prochain coup, du côté opposé.

En fait, il est généralement reconnu que l'accélération maximale absolue du kayak est obtenue à la position verticale de la pagaie (Mann et Kearney, 1979). De plus, les deux facteurs contribuant le plus à maintenir la position verticale de la pagaie sont, d'une part, la position du haut du corps et, d'autre part, un point de pivot haut de la pagaie.

Généralement la position du haut du corps est considérée excellente lorsqu'elle s'associe à une pagaie verticale, cette combinaison constituant un apport substantiel à la performance. L'angle de la pagaie, à l'entrée et à la sortie de l'eau, produit une force moindre dans la direction horizontale. Il est donc

conseillé de placer la pagaie le plus rapidement possible à la position verticale à l'entrée de l'eau et de la retirer rapidement (phase 3) à la fin du coup afin d'éviter toute force de résistance.

Beaudou (1987) abonde dans le même sens en spécifiant que l'athlète doit rencontrer une forte résistance de la pale aux mouvements de traction et de propulsion ainsi qu'une faible résistance du bateau aux mouvements de transmission des forces par le système de cale-pied (calage). Les calages doivent donner au corps une base d'appui efficace (membres inférieurs) pour le développement des mouvements dynamiques du haut du corps et pour la transmission des forces propulsives au kayak. On rappelle que seuls les fesses (avec le siège) et les pieds (appuyés sur le cale-pied) sont en contact avec le kayak.

### Système de force

Beaudou (1987) nous présente un système global de force appliqué au kayak (Figure 3). Le kayak en déplacement est soumis à plusieurs forces externes. Ce système est divisé en trois niveaux, soit bateau, pagaie et pagayeur.

#### Au niveau du bateau

1. Forces de résistance à l'avancement (ou traînée hydrodynamique).  
La résistance dépend:
  - de la perturbation externe (vents, vagues, etc.);
  - du coefficient de frottement de la coque (état de la surface).
2. Forces de transmission des forces propulsives par le cale-pied ( $\vec{T}_1$  et  $\vec{T}_2$ ).
3. Le poids  $\vec{P}$  du pagayeur et engins (siège, cale-pied et gouvernail).  
La poussée  $\vec{P}'$  d'Archimède (mécanique des fluides).



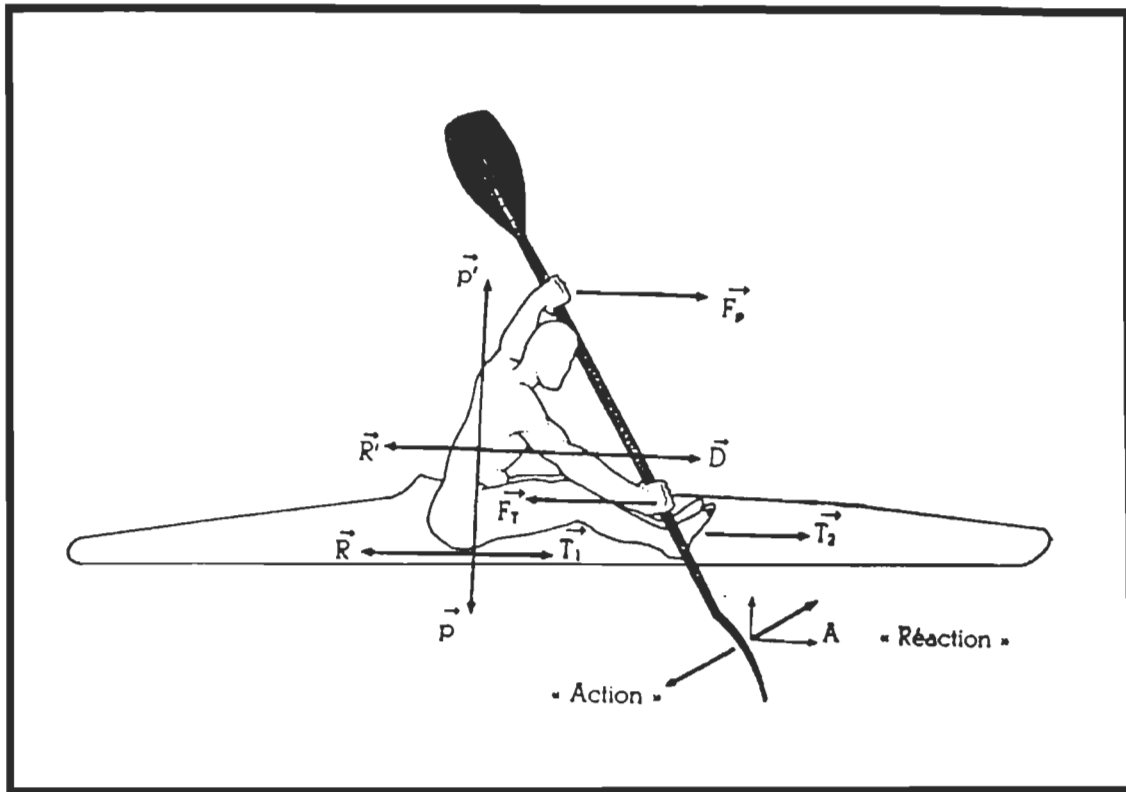


Figure 3. Système global des forces bateau-pagaie-pagayeur (plan sagittal) (Beaudou, 1987).

#### Au niveau de la pagaie

4. La force d'appui  $\vec{A}$  (3<sup>è</sup> loi de Newton, action-réaction).
5. La force de traction déployée par le pagayeur  $\vec{F}_T$ .
6. La force de poussée déployée par le pagayeur  $\vec{F}_P$  (la pagaie représente un levier mixte de 2<sup>è</sup> et 3<sup>è</sup> genres).

#### Au niveau du pagayeur

7. La force de déplacement  $\vec{D}$  du système (centre de gravité du système).
8. La force de résistance de l'air  $\vec{R}_1$  (ou traînée aérodynamique).

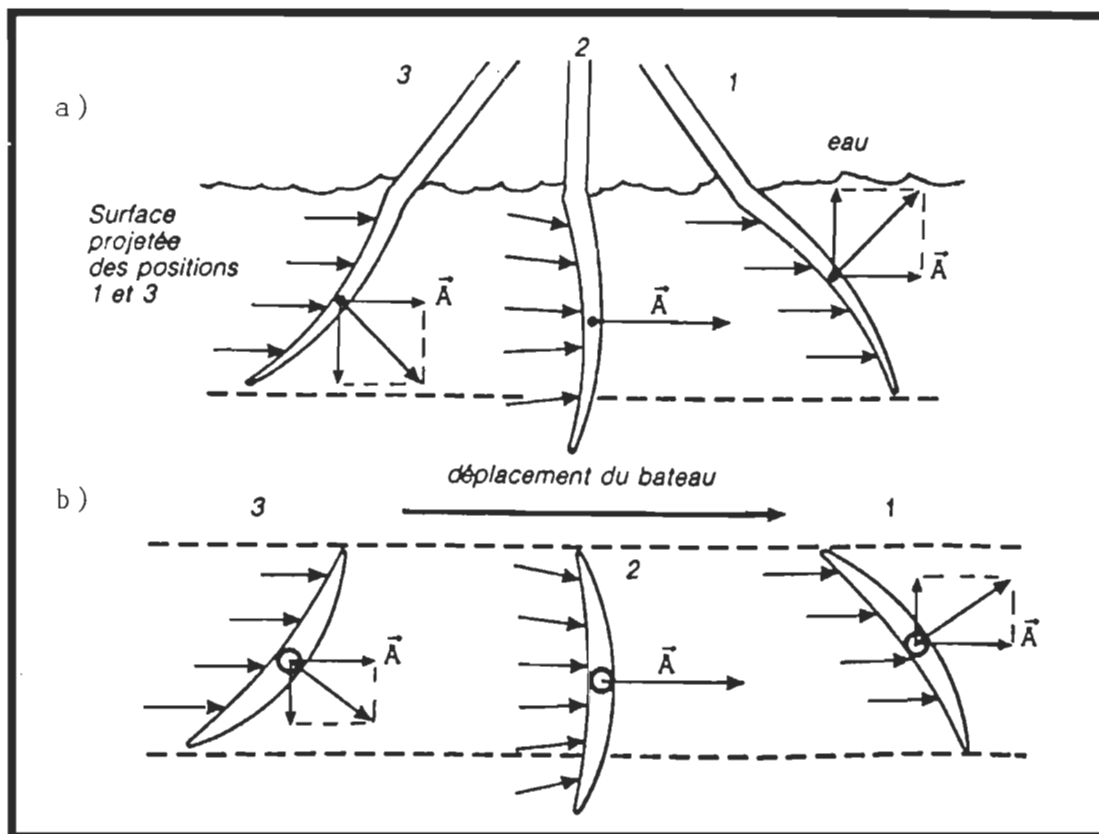


Figure 4. Surface projetée de la pale selon la position et les plans de mouvement du pagayeur.

### Effet de la pagaie

Concernant uniquement la pagaie, Beaudou (1987) présente de façon schématique (Figure 4) la variation de la surface projetée sur la pale lors d'un coup de pagaie. On remarque les trois premières phases du mouvement dans les plans sagittal (a, vue latérale) et transverse (b, vue en plongée). Les positions 2 (verticalité et perpendicularité) correspondent à la plus grande surface de pression avec l'eau et donc de l'appui le plus efficace (Beaudou, 1987).

Plusieurs autres chercheurs (Plagenhoef, 1979; Mann et Kearney, 1980) en viennent à la même conclusion: la plus grande surface de pression avec l'eau (l'appui le plus efficace) est obtenue lors de la verticalité de la pagaie par rapport à l'eau (dans le plan sagittal). Une autre variable s'ajoute cependant, celle de la position perpendiculaire de la pale (plan transverse ou horizontal). Un léger angle ouvert ou fermé de la pale par rapport à l'axe de déplacement peut causer un glissement latéral de celle-ci, amenant ainsi une perte d'efficacité.

Au sujet de cette nouvelle pale, la "*wing*", Beaudou (1987) mentionne que si celle-ci pénètre trop dans l'eau, le mouvement provoquera un couple de rotation dont l'effet sera de lever le bateau. Il suggère d'immerger rapidement la pale mais sans excès.

Maintenant, au niveau du point de pivot de la pagaie (vue dans le plan sagittal), on note un changement de sa hauteur selon la phase du mouvement. On devrait observer la variation de hauteur suivante, soit: un point de pivot bas lors de la phase d'entrée, une hauteur moyenne lors de la phase de propulsion et une hauteur élevée lors de la phase de sortie de la pale.

Cette variation de hauteur du point de pivot sert à positionner la pagaie le plus verticalement possible et à prolonger l'efficacité de la phase de propulsion (Figure 5a). Sur la même figure(5), le schéma b1 montre un point de pivot haut alors que le schéma b2 montre l'opposé, soit un point de pivot bas, ce qui a pour effet de réduire la longueur du coup de pagaie ( $L'$ ) (Beaudou, 1987).

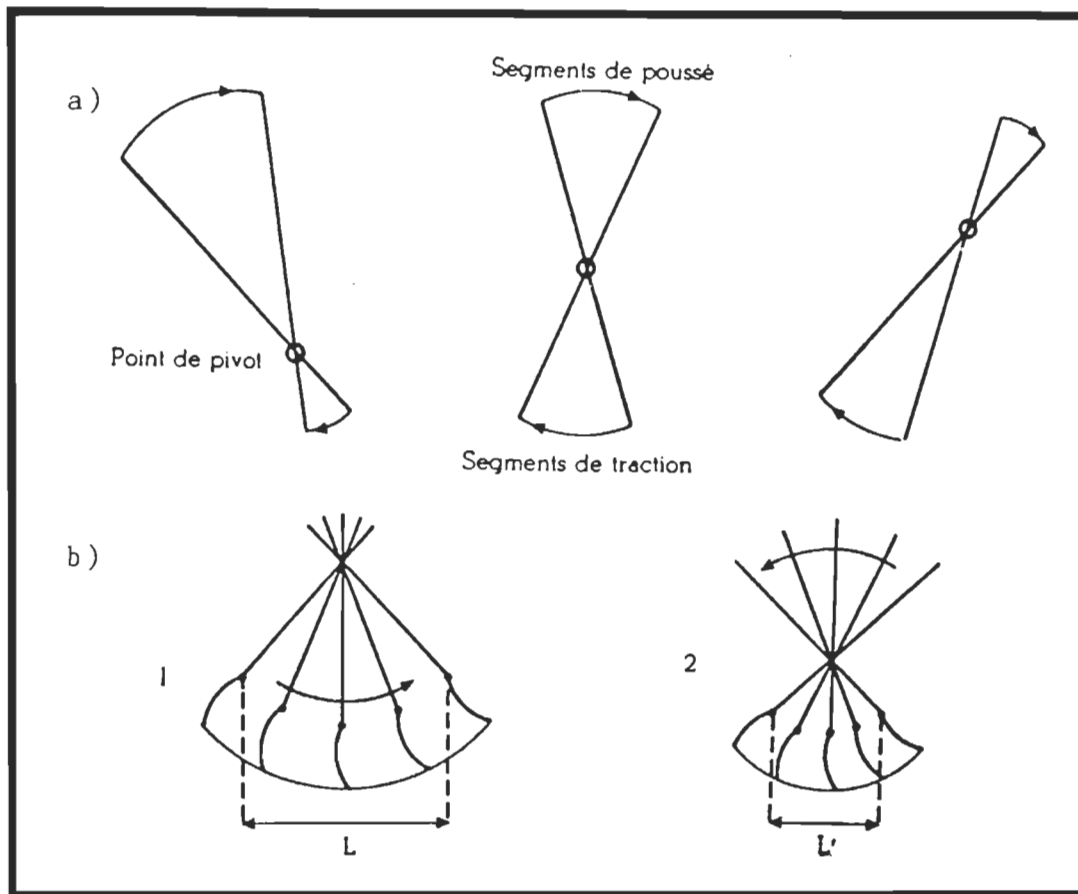


Figure 5. Variation du point de pivot de la pagaie lors de la propulsion.

### Notions de dynamique

Toujours selon Beaudou (1987), le système en déplacement peut s'exprimer selon la relation suivante:

$$(\vec{R} + \vec{R}^1) + \vec{F} = M \frac{dV}{dt}$$

où  $\vec{F}$  est la force efficace pour le déplacement et  $\frac{dV}{dt}$  est l'accélération du mouvement (force transmise). La valeur  $\vec{F}$  représente la résultante des forces de traction et de poussée du pagayeur sur la pagaie. La trainée hydrodynamique est représentée par  $\vec{R}$  tandis que  $\vec{R}^1$  indique la trainée aérodynamique. La masse du

pagayeur et du matériel (kayak, siège, cale-pied et gouvernail) est décrite par M.

En fait, pendant un coup de pagaie, la force  $\vec{F}$  du pagayeur appliquée durant la phase de propulsion imprime une accélération au mouvement car elle est supérieure aux forces de résistance alors que lors des phases de sortie et de recouvrement, on obtient l'effet inverse, donc un ralentissement du bateau. Le déplacement du bateau est ainsi une alternance d'accélération positive et d'accélération négative du mouvement en phase de propulsion. Cette analyse s'applique autant pour les kayakistes dits *explosifs* que ceux dits *fluides*.

Selon les qualités neuromusculaires et morphologiques des athlètes et suivant les distances de course (200, 500 ou 1000 mètres), ceux-ci nécessitent une capacité de maîtrise des composantes dynamiques du coup de pagaie.

Ces composantes sont essentiellement les suivantes:

- la fréquence des coups de pagaie (C);
- la force ou puissance efficace  $\vec{F}$ ;
- la longueur (L) du coup efficace (la portion du coup où l'on observe une accélération);
- la conservation d'un bon rapport entre les trois paramètres (C,  $\vec{F}$ , L), afin de réaliser la meilleure vitesse moyenne possible sur la distance de course.

Beaudou (1987) a observé qu'il existait des relations individuelles entre C, L et la vitesse de déplacement. Une fréquence donnée correspond à une longueur maximale du coup, une autre à la vitesse maximale de déplacement, et finalement une dernière à la vitesse gestuelle maximale du pagayeur (longueur minimale du coup).

Les auteurs russes mentionnent, au sujet de la fréquence de pagayage (C), que cet indice est fortement lié à la performance. On a remarqué que l'indice C était supérieur pour les médaillés par rapport aux autres finalistes (Jeux Olympiques de Moscou en 1980). L'indice C est aussi lié au niveau de préparation de l'athlète alors que la fréquence moyenne de pagayage varie en fonction de la période d'entraînement de l'athlète.

### Transmission des forces

Les considérations précédentes nous amènent à comprendre comment la transmission de la force propulsive de la pagaie vers le bateau via les calages est un élément important de la technique. Les pertes d'énergie dans des mouvements parasites sont fréquentes et doivent être réduites au minimum.

Le mouvement du pagayeur ainsi que ses appuis (pagaie, siège et cale-pied) doivent favoriser au mieux le passage de l'énergie de propulsion suivant la chaîne articulaire et musculaire de production-transmission des forces allant de la pale de la pagaie (qui prolonge la main) au cale-pied et au bateau. Pour un meilleur contact avec les engins, les mains doivent être fixes sur le manche de la pagaie, de même que les fesses sur le siège et les pieds sur le cale-pied; tel que suggéré plus haut, une courroie fixe du cale-pied est recommandée. Le pédalage des membres inférieurs en kayak, qui amène à pousser sur le cale-pied du côté de la propulsion (jambe droite pour coup droit, et vice-versa) et de tirer de l'autre côté afin de maintenir le bassin dans une position stable, joue deux rôles importants (Beaudou, 1987): transmettre les forces au bateau et servir d'appui stable aux mouvements amples et puissants du haut du corps (tronc et membres supérieurs) par l'intermédiaire du bassin.

C'est justement ce que la présente étude va tenter d'éclaircir, à savoir l'impact d'un cale-pied sur la transmission des forces. Par l'entremise des résultats de traction exercée par le kayak sur son câble d'attache ainsi que des forces enregistrées au siège, on doit être en mesure de vérifier cet impact.

## CHAPITRE III

### MÉTHODOLOGIE

#### Sujets

Huit sujets de niveau élite participaient à l'expérience, quatre garçons et quatre filles de calibre provincial ou national, dont la moyenne d'âge et de poids étaient respectivement de 17 ans et 64,65 kg pour les gars et de 16 ans et 54,09 kg pour les filles (Tableau 1). Ils étaient tous membres du Club de canotage de Cap-de-la-Madeleine et possédaient tous une expérience de trois ans et plus du kayak de compétition.

#### Appareillage

L'expérimentation s'est déroulée en piscine intérieure, de dimensions 8 x 25 mètres (Figure 13, Annexe C). Le même kayak (type Lancer) fut utilisé par tous les sujets. Le kayak était attaché avec un câble de nylon entourant le trou d'homme et fixé à l'extérieur de la piscine, une cellule de force (Statham 0-250 lbs) étant fixée à l'extrémité du câble. Celui-ci passait en-dessous d'une poignée de métal qui, elle, était fixée à la poupe du kayak, soit à 50 cm de l'extrémité de l'embarcation afin de la stabiliser (Figure 6).

Huit jauges de contrainte étaient fixées aux quatre supports du siège, à raison de deux par support (Figure 13, Annexe C). Les jauges mesuraient les forces antéro-postérieures ainsi que les forces en rotation (moments de force).



**Tableau 1**Données anthropométriques des sujets

Sujets	Sexe (M ou F)	Âges (ans)	Poids (kg)	Taille (cm)
1	M	17	56,82	160,65
2	M	16	66,82	172,67
3	M	16	65,91	174,57
4	M	19	69,09	178,00
5	F	18	56,36	163,20
6	F	16	46,36	159,38
7	F	16	61,36	163,20
8	F	14	52,27	155,55

Légende: M: Masculin ; F: Féminin; kg: Kilogramme; cm: Centimètre.

Un électrogoniomètre était placé à l'extérieur de chaque genou du sujet afin de recueillir certaines mesures cinématiques angulaires enregistrées durant l'effort. Deux caméras vidéo synchronisées (Panasonic, modèle WV3990) permettaient l'inscription des mouvements des kayakistes, l'une perpendiculaire au plan sagittal et l'autre au plan frontal de mouvement (Figure 6). Un stroboscope (General Radio, modèle 1531) servant à synchroniser les paramètres cinétiques et cinématiques avec la pellicule de la bande vidéo était installé sur une table, à l'arrière du sujet. Enfin, on a utilisé un micro-ordinateur (Apple IIe) afin d'enregistrer les données de force provenant des différentes jauges, pour chaque essai (Figure 14, Annexe C).

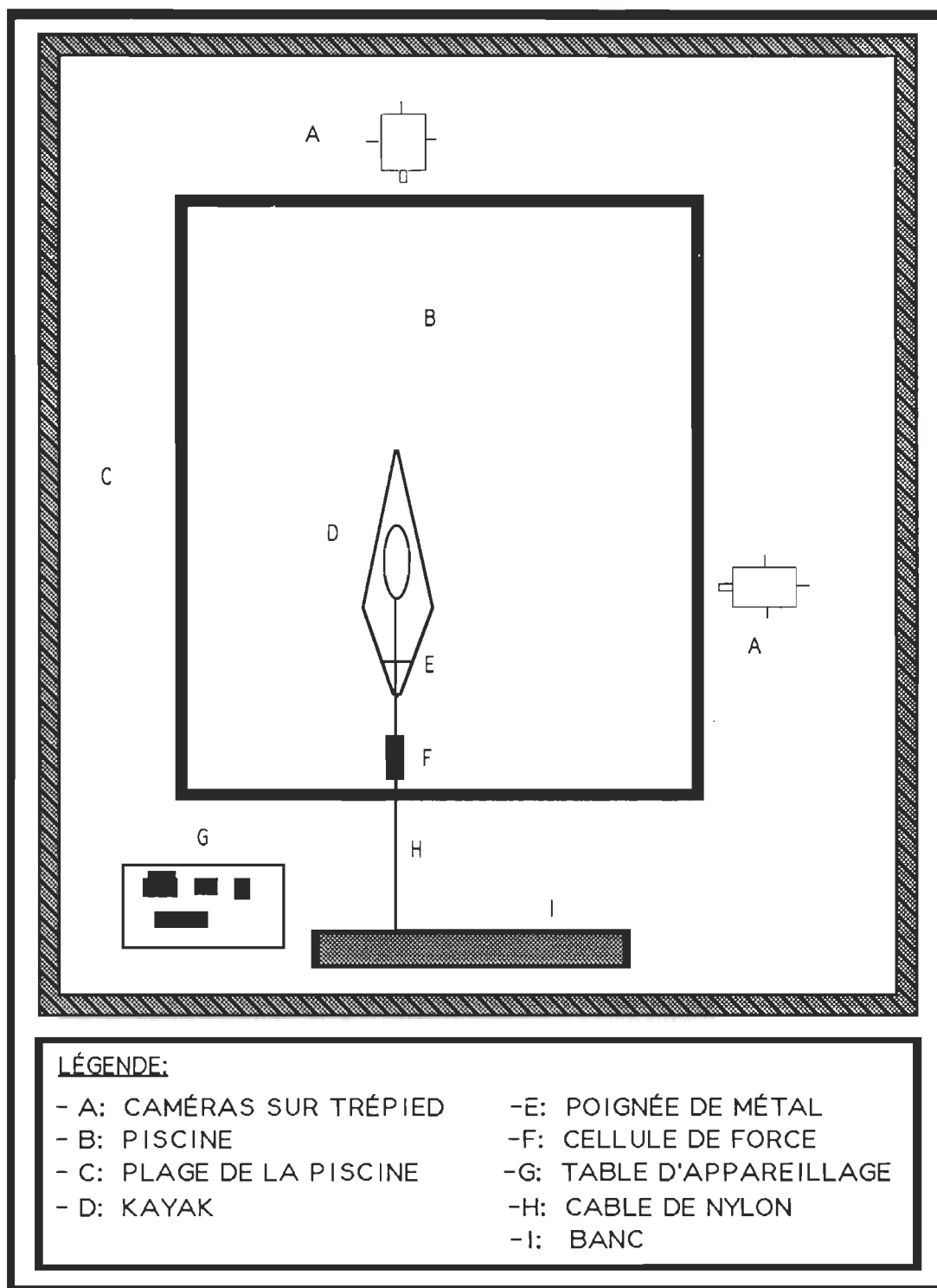


Figure 6. Schéma du montage expérimental (vue de dessus).

**Tableau 2**Arrangement des séances expérimentales

Sujets	Ordre des conditions*			
1, 5	a	b	a	b
2, 6	a	b	b	a
3, 7	b	a	b	a
4, 8	b	a	a	b

\*a = avec cale-pied, b = sans cale-pied.

Plan de la recherche

Le plan de cette recherche expérimentale est de type intra-sujet, i.e. où l'on "confronte un seul et même groupe à tous les niveaux de la variable indépendante étudiée" (Robert, 1988). Les huit sujets devaient réaliser les deux niveaux de la variable indépendante, soit avec cale-pied(a) ou sans cale-pied(b). Seul l'ordre des conditions variait. Le Tableau 2 illustre l'arrangement expérimental, pour les huit sujets. Cette procédure avait pour but de neutraliser l'effet d'ordre et ainsi permettre des résultats moyens plus fiables.

### Déroulement de l'expérience

L'expérimentation s'est déroulée sur trois jours, impliquant le sujet 1 le premier jour, les sujets 2, 5 et 6 le deuxième jour et les sujets 3, 4, 7 et 8 le dernier jour, à la piscine intérieure de l'école secondaire Le Tremplin à Ste-Geneviève-de-Batiscan. Tous les sujets étaient soumis aux mêmes procédures expérimentales. Les sujets avaient trois essais de familiarisation avec le kayak fixe, avant l'expérimentation. Ces séances devaient rassurer les sujets relativement à l'arrimage inusité du kayak causant une instabilité et ainsi nous permettre d'obtenir des résultats plus valides. Notons que chacun des sujets utilisait sa propre pagaie pour les deux conditions expérimentales.

Pour les journées d'expérimentation, on a procédé tout d'abord à l'ajustement précis du montage expérimental, préalablement à l'arrivée des sujets. Par la suite, on demandait au sujet de lire et de signer le formulaire de consentement (Annexe A). On l'invitait alors à ajuster le siège et le cale-pied du kayak à une position confortable. Le sujet s'échauffait en pagayant à intensité faible à moyenne pour environ trois minutes. Pendant le repos de trois minutes avant le début de l'expérience, on donnait les dernières recommandations (Annexe B, Consignes aux sujets).

Ensuite, le sujet devait effectuer quatre séries de trois essais chacune, en respectant l'ordre des conditions indiqué au Tableau 2. Chacun des essais durait 10 secondes et était suivi d'un repos de 90 secondes. Les temps d'effort et de repos étaient les mêmes pour tous les sujets. Quatre minutes de repos étaient accordées d'une série à l'autre. Une fréquence de pagayage de 50 à 60 coups à la

minute était imposée (pour les deux conditions) afin de maintenir une certaine régularité entre les essais; autrement, l'essai était repris.

La position des payeurs demeurait constante pour les deux conditions expérimentales, soit talons appuyés contre le fond de la coque à une distance précise (marquée par un ruban adhésif), genoux maintenus fléchis sans contact avec les côtés et les fesses en contact permanent avec le siège. La seule différence notable entre les deux conditions est le non appui du haut des pieds, dans la condition sans cale-pied.

Les sujets étaient soumis à l'expérimentation individuellement, i.e. aucun autre sujet ne pouvait y assister. Ceci avait pour but d'éliminer la contamination des résultats due à l'influence d'autres payeurs, l'esprit de compétition ou autres. Après avoir complété les quatre séries d'essais, le sujet était remercié et on l'invitait à consulter ultérieurement les résultats de l'étude. Chaque sujet compléta le tout en 60 minutes environ.

## CHAPITRE IV

### RÉSULTATS

Ce chapitre se divise en deux sections, soit la procédure employée pour extraire et traiter les données et les résultats proprement dits.

#### Analyse des résultats

Mentionnons d'abord que les données ayant trait à la variation angulaire des genoux ont dû être écartées, les électrogoniomètres ayant mal fonctionné, par détérioration électrique due à l'aspersion d'eau. Les données étaient destinées à contrôler le déplacement angulaire des genoux afin d'écarter au besoin les essais marqués d'une flexion excessive des genoux; par conséquent, aucun essai n'a été retiré après analyse des résultats.

Ceci dit, nous nous attarderons, dans un premier temps, à l'analyse de la force de traction déployée par le sujet. Cette force de traction mesurée à l'aide de la cellule de force attachée à la corde qui retient le kayak est représentée par une série de coups de pagaie alternatifs à gauche et à droite (Figure 7). Afin de pouvoir identifier les coups de pagaie sur la courbe de force, nous nous sommes servi du signal provenant du stroboscope durant chacun des essais. Ce signal, inscrit en parallèle sur la feuille de résultats (Figure 7) et simultanément visible sur la bande vidéo, nous a permis d'identifier clairement la latéralité des coups de pagaie. On remarque le temps d'échantillonnage d'une durée de 10 secondes par essai ainsi que le signal provenant du stroboscope sur cette même ligne; P.M. représente le point milieu.

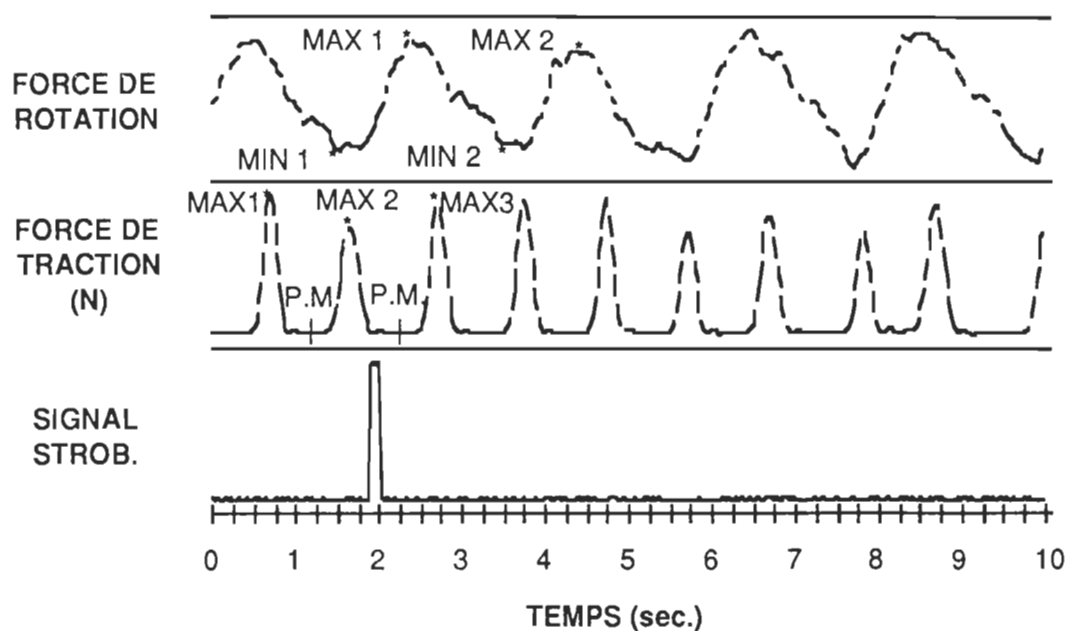


Figure 7. Principales courbes servant à l'analyse des résultats.

Par la suite, on a identifié le maximum de force de traction provenant de chaque coup de pagaie (quatre coups gauches et quatre coups droits) sur la courbe et ce pour chacun des essais. Puis, utilisant le point milieu (P.M.) horizontal entre les maximums (MAX) identifiés, nous avons découpé et séparé les huit coups, quatre du côté gauche et quatre du côté droit alternés. Ainsi, il nous a été permis de calculer la surface sous la courbe de chaque coup et combiner en deux moyennes les quatre coups gauches et droits respectivement. Ces résultats apparaissent au Tableau 3.

**Tableau 3**

Forces de traction moyenne (impulsion en N•s).

Sujets	Sexe (M / F)	Sans C-P Gauche / Droit	Avec C-P Gauche / Droit	Augmentation (%) avec C-P
1	M	55,58 48,38	54,25 61,25	11,10%
2	M	71,75 44,21	80,67 57,79	19,40%
3	M	60,46 70,21	60,70 72,45	1,90%
4	M	136,67 125,29	148,04 132,33	7,03%
Moy	M	81,04 72,02	85,92 80,96	
Moy(G+D)	M	76,53	83,44	9,03%
5	F	36,67 21,88	37,21 38,96	30,09%
6	F	33,67 31,21	36,13 38,08	14,38%
7	F	31,88 56,71	54,58 53,25	21,72%
8	F	54,50 47,96	55,54 51,13	4,11%
Moy	F	39,18 39,44	45,87 45,36	
Moy(G+D)	F	39,31	45,62	16,05%
Moy	M+F	60,11 55,73	65,90 63,16	
Moy(G+D)	M+F	57,92	64,53	11,41%

Légende: Moy: moyenne; G+D: coups gauche et droit combinés; M: masculin; F: féminin; C-P: cale-pied.



Pour les forces antéro-postérieures exercées contre le siège, une fluctuation importante de la ligne de base du système de mesure nous a empêché de les quantifier adéquatement. Cette fluctuation pourrait être attribuable à un léger déplacement des fesses du kayakiste à chaque cycle de mouvement ou à une déformation même du siège. La fluctuation nous empêche de mesurer valablement la traction exercée sur le siège.

En ce qui concerne les forces de torsion enregistrées au siège, nous les estimons en soustrayant les valeurs antéro-postérieures de force enregistrées du côté gauche du siège de celles du côté droit, obtenant une mesure de la force de rotation nette exercée contre le siège. Cette mesure peut vraisemblablement être altérée, voire compromise par la fluctuation de la ligne de base. Nous faisons toutefois l'hypothèse que cette fluctuation, quelle qu'en soit la cause, influence simultanément et de façon cohérente les points de mesure gauches et droits, le biais introduit se trouvant évacué dans la soustraction. Une vraie torsion du siège aboutirait donc correctement à une différence gauche-droite plus importante en valeur absolue.

Un exemple de ces forces de traction et de rotation est présenté à la Figure 7, plus haut. Afin d'extraire l'information de ces courbes de force (en unités arbitraires), nous avons identifié le minimum (MIN) et le maximum (MAX) relatifs à chacun des cycles de la courbe, puis estimé l'amplitude en prenant la médiane des différences, en valeurs absolues, entre les maxima et minima consécutifs. Le résumé des résultats représentant ces amplitudes apparaît au Tableau 5.

**Tableau 4**Analyse de variance des forces de traction.

Source de variation	Degrés de liberté	Carré moyen	F
Total	31		
Sujets	7		
Sexe(A)	1	11275,14	3,79
Intra-groupe	6	2976,04	
Intra-sujet	24		
Cale-pied(B)	1	346,70	21,87**
A x B	1	0,64	<1
B x Ss	6	15,86	
Latéralité(C)	1	102,28	<1
A x C	1	95,26	<1
C x Ss	6	157,94	
B x C	1	5,65	<1
A x B x C	1	12,02	<1
B x C x Ss	6	48,22	

\*\*p&lt;0,01.

Un autre facteur a été jugé important lors de l'analyse, soit l'effet de rebond provenant du câble, et qui a causé un déphasage de la courbe de force de traction d'un demi-coup; une conséquence en est qu'il est très difficile d'établir un lien temporel systématique entre les différentes courbes.

Résultats obtenus

Force de traction du kayak. Tout d'abord, cette portion des résultats traite de la force de traction exercée par le kayak. Le Tableau 3 présente les moyennes de force de traction, avec et sans cale-pied, pour les coups de pagaie à

gauche et à droite, en newtons. Pour le coup du côté gauche, on obtient à partir de l'ensemble des huit sujets une moyenne de 60,11 N•s sans cale-pied comparativement à 65,90 N•s avec cale-pied, soit une augmentation de force de 9,63%. Pour le coup du côté droit, on obtient des moyennes variant de 55,73 N•s à 63,16 N•s, pour une augmentation de 13,33% avec cale-pied. Lorsqu'on combine les coups gauche et droit, on note une augmentation de 11,41%, soit 57,92 N•s sans cale-pied et de 64,53 N•s avec cale-pied.

L'analyse de variance, pour ces résultats, est présentée au Tableau 4; le plan d'analyse a trois dimensions à mesures répétées, soit le sexe, la présence ou l'absence du cale-pied, et la latéralité (gauche, droite) du coup de pagaie.

La Figure 8 présente les moyennes de forces de traction chez les filles et les garçons en fonction des conditions (avec et sans cale-pied). En fait, on obtient des valeurs de 39,31 N•s sans cale-pied et de 45,62 N•s avec cale-pied chez les filles, en comparaison de 76,53 N•s et 83,44 N•s chez les garçons. Cela signifie des augmentations de 16,05% chez les filles et de 9,03% chez les garçons avec l'utilisation d'un cale-pied.

La différence d'un sexe à l'autre n'atteint pas la significativité ( $F(1,6) = 3,79$ ; n.s.). Cependant, avec cale-pied, la force de traction moyenne apparaît significativement supérieure à celle sans cale-pied ( $F(1,7) = 21,87$ ;  $p < 0,01$ ). Ce résultat va dans le sens de notre première hypothèse. Aucun autre résultat, notamment en ce qui a trait à la latéralité du coup de pagaie, n'est significatif.

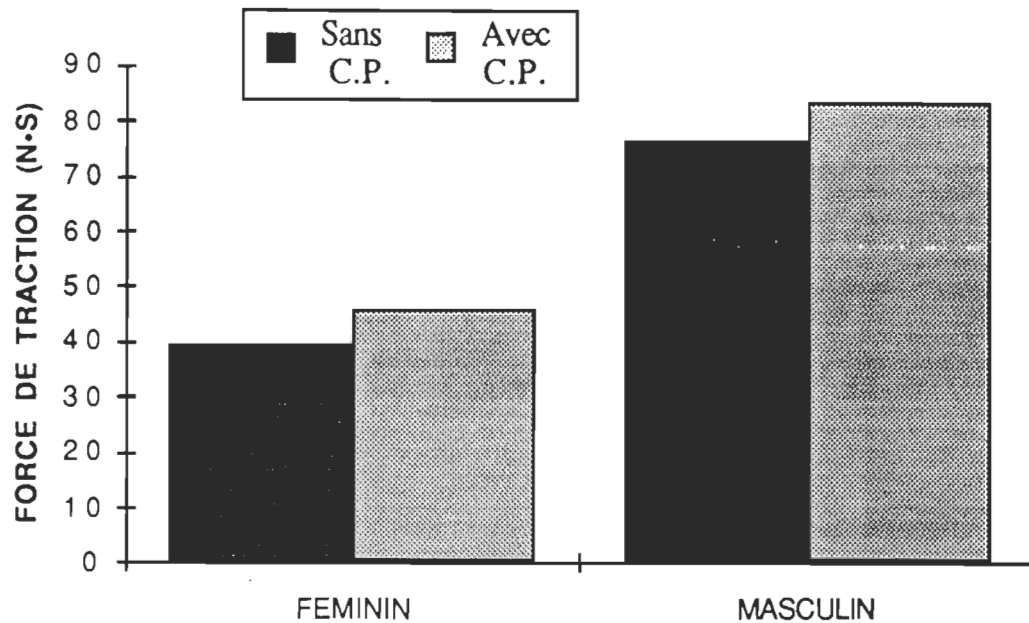


Figure 8. Forces moyennes de traction par sexe (C.P.: cale-pied).

Force de rotation exercée contre le siège. La partie des résultats traitant des forces antéro-postérieures du siège du kayak a dû être éliminée à cause de la grande variation de la ligne de base enregistrée lors des calibrations du siège. Pour cette raison, la contribution de force mesurée au siège à la force de traction résultante n'a pu être déterminée. Seules les mesures de force de rotation du siège ont été retenues pour l'analyse des résultats.

Le Tableau 5 présente l'ensemble des résultats provenant des forces de rotation moyennes obtenues à partir des 12 essais enregistrés pour chacun des sujets, avec et sans cale-pied. Ces résultats d'amplitude des forces de rotation exercées contre le siège correspondent à la médiane des écarts entre minima et maxima consécutifs, pour chacune des courbes (Figure 7, plus haut). Les valeurs

**Tableau 5**

Forces de rotation moyenne exercées contre le siège (en unités arbitraires).

Sujets	Sexe	Conditions		Augmentation (%)
		Sans C-P	Avec C-P	avec C-P
1	M	36,42	90,33	148,02%
2	M	70,83	107,33	51,53%
3	M	40,83	68,00	66,54%
4	M	81,92	125,92	53,71%
Moy	M	57,50	97,90	70,26%
5	F	40,70	124,83	207,70%
6	F	59,00	69,50	17,80%
7	F	31,00	92,85	199,52%
8	F	59,42	116,00	95,22%
Moy	F	47,53	100,80	112,07%
Moy	M+F	52,52	99,35	89,17%

Légende: Moy: moyenne; F: féminin; M: masculin; C-P: cale-pied.

moyennes des huit sujets avec et sans cale-pied sont de 52,52 unités et de 99,35 unités respectivement, soit une augmentation de 89,17% avec le cale-pied.

L'analyse de variance, pour ces résultats, est présentée au Tableau 6; le plan d'analyse a deux dimensions, dont une à mesures répétées, soit le sexe et l'utilisation ou non du cale-pied. On remarque qu'avec cale-pied, les forces moyennes de rotation du siège sont significativement supérieures à celles sans

**Tableau 6**Analyse de variance des forces de rotation exercées contre le siège

Source de variation	Degrés de liberté	Carré moyen	F
Total	15		
Sujets	7		
Sexe(A)	1	49,99	<1
Intra-groupe	6	689,98	
Intra-sujet	8		
Cale-pied(B)	1	8772,20	32,37**
A x B	1	165,64	<1
B x Ss	6	270,99	

\*\* $p < 0,01$ .

cale-pied ( $F(1,6) = 32,37$ ;  $p < 0,01$ ). Ce résultat va dans le sens de notre deuxième hypothèse.

Les Figures 16 (a) et (b), en Annexe C, montrent la variation intra-sujet des forces de rotation obtenues avec et sans cale-pied. Cette variation semble plus ou moins grande selon les sujets. Chez les sujets masculins, on obtient une augmentation variant de 51,53% à 148,02% avec l'utilisation du cale-pied comparativement à une augmentation de 17,80% à 207,70% pour les sujets féminins.

## CHAPITRE V

### DISCUSSION

Globalement, l'ensemble des résultats s'avère intéressant, tant pour les forces de traction exercées par le kayak que celles de rotation exercées contre le siège. Les résultats démontrent à quel point l'impact du cale-pied est important.

Tout d'abord, nous avons confirmé notre première hypothèse: la force de traction du kayak est supérieure avec l'utilisation d'un cale-pied, même si la variation angulaire des genoux n'a pu être contrôlée. Un certain contrôle fut quand même exercé lors de l'expérimentation par le visionnement de la bande vidéo, en reprenant les essais manqués.

De plus, dans l'analyse des coups de pagaie latéraux, nous n'obtenons nulle différence significative concernant la dominance du côté gauche sur le droit: sur 16 situations distinctes (huit sujets droitiers, avec et sans cale-pied)<sup>1</sup>, seulement 10 favorisent une plus forte traction du côté gauche ( $p = 0,227$ , n.s.). En sachant que pour notre étude, tous les sujets contrôlaient leur pagaie avec la main gauche, nos résultats rejoignent ceux de Mann et Kearney (1979), à l'effet que l'asymétrie de dominance du côté de la main contrôle n'est pas généralement observée chez les kayakistes.

Hoyt, en 1988, avait aussi identifié cette asymétrie de la latéralité des coups de pagaie. On pourrait expliquer cette asymétrie par l'effet de rotation de

---

<sup>1</sup>Pour chaque situation, les données s'appuient sur six essais à raison de quatre coups par essai, de chaque côté.

la pale juste avant l'entrée du côté opposé à la main dominante, réduisant ainsi la longueur du coup de pagaie. Par exemple, un pagayeur contrôlant sa pagaie avec la main gauche aura un coup de pagaie plus long du côté gauche comparativement au côté droit, à cause du changement d'angle de la pale à droite.

Notre deuxième hypothèse (les forces antéro-postérieures et de rotation exercées contre le siège sont supérieures avec l'utilisation d'un cale-pied) fut confirmée en partie. En effet, les forces de rotation sont significativement supérieures avec l'utilisation d'un cale-pied mais rien n'a pu être avancé pour les forces antéro-postérieures à cause des problèmes de mesure expliqués antérieurement. En ne sachant pas la grandeur des forces directement reliées au déplacement du bateau, il est difficile d'évaluer la contribution réelle des membres inférieurs au mouvement global du kayak.

Il aurait été intéressant d'obtenir ces résultats dans le but d'établir un lien entre la force antéro-postérieure exercée contre le siège et la force de traction du kayak pour les deux conditions avec et sans cale-pied.

Les résultats montrent qu'il y a eu une augmentation chez tous les sujets avec l'utilisation du cale-pied, autant pour les forces de traction du kayak que pour celles de rotation exercées contre le siège. Cette augmentation est légèrement mais non significativement plus marquée chez les sujets féminins que ceux masculins, soit de 16,05% comparativement à 9,03% pour les forces de traction du kayak et de 112,07% comparativement à 70,26% pour les forces de rotation exercées contre le siège.



Contrairement à Beaudou (1987), on peut supposer que la relation entre la force de propulsion du pagayeur et la stabilité du bateau est parabolique. Les sujets féminins ayant une marge d'amélioration plus grande bénéficient de l'apport du cale-pied. Quant aux sujets masculins, très performants dans notre cas, leur ratio travail : effort est optimal, et tout accroissement de vitesse ou de mouvement, grâce au cale-pied, serait compensé par de la turbulence ou l'instabilité du kayak, ce qui explique le bénéfice réduit du cale-pied dans ce cas<sup>1</sup>.

Notons qu'aucun changement de la posture ne fut observé pour les deux conditions expérimentales chez les sujets des deux sexes, par visionnement de la bande vidéo. Par contre, il faut rappeler que la stabilité perdue par le retrait du cale-pied est peut-être responsable d'une perte de la force de traction exercée par le kayak. Beaudou (1987) a indiqué que les deux fonctions du cale-pied étaient la transmission des forces et la stabilisation du bateau. Ainsi, on ne peut affirmer que la perte totale de force enregistrée dans la condition sans cale-pied soit entièrement imputable à la moindre contribution des membres inférieurs.

De plus, la grande variation obtenue pour les forces de rotation exercées au siège chez les huit sujets (augmentation de 89,17 % avec le cale-pied) montre que le siège est un point de transfert de forces entre le haut et le bas du corps. En effet, les fesses seraient le pivot de la transmission des forces provenant des membres inférieurs allant vers le haut du corps selon Fadiman(1990). Notre étude confirme cette allégation.

---

<sup>1</sup> L'ajout d'une quille, qui neutralise l'instabilité due à un grand mouvement, restituerait peut-être le bénéfice entier du cale-pied.

Aucun lien direct, par corrélation intra-sujet, n'a pu être établi dans cette étude entre la force moyenne de traction et celle de rotation du siège. Ceci fut rendu impraticable en raison de la dissociation des courbes de force occasionnée par l'effet de rebond du câble. Le déphasage présent entre ces deux courbes ne permettait pas d'obtenir de corrélation valable.

Ainsi, cette étude a démontré que les membres inférieurs avaient, par l'intermédiaire d'un cale-pied, un impact réel sur la transmission des forces au kayak. De façon générale, cette étude a permis de constater à quel point les membres inférieurs ont un rôle important à jouer en kayak de vitesse et que ceux-ci peuvent avoir un impact sur la performance de l'athlète. Par conséquent, il serait important pour athlète et entraîneur de tenir compte des membres inférieurs lorsque vient le temps d'élaborer le programme d'entraînement.

### Conclusion

La présente étude portait sur l'impact que peut avoir un cale-pied sur les forces globales de traction exercées par le kayak ainsi que sur les forces de rotation exercées contre le siège du pagayeur. A notre connaissance, aucune étude n'a jusqu'à maintenant vérifié et mesuré la contribution des membres inférieurs sur la transmission des forces au kayak. La présente étude visait donc à mesurer et comprendre l'effet de cette variable sur les forces mentionnées ci-dessus.

L'analyse des résultats révèle que la force globale de traction du kayak est supérieure avec l'utilisation d'un cale-pied; on obtient des augmentations de

9,03 % chez les sujets de sexe masculin et de 16,05 % chez ceux de sexe féminin.

D'autres résultats démontrent que les forces de rotation exercées contre le siège, pour tous les sujets, sont elles aussi supérieures avec un cale-pied (89,17%). On obtient des résultats supérieurs de 70,26 % pour les sujets masculins, comparativement à 112,07 % pour les sujets féminins, une différence avérée non significative. Ainsi, ces résultats ont permis de confirmer l'importance des membres inférieurs dans la transmission des forces au bateau par le cale-pied et l'impact favorable du cale-pied dans la propulsion du kayak.

## RÉFÉRENCES

- Anderson, F. (1989). The politics of design. Canoe, 17, 14-15.
- Ariel, G. (1979). Contribution of biomechanics to the art of coaching. International Seminar on the Art and Science of Coaching, Israel, 76-89.
- Beaudou, A. (1987). Pratique du canoë-kayak. Paris: Vigot.
- Benson, B. (1975). Mechanical analyses of kayak paddling. Canadian Coach, 6, 14-18.
- Bridge, R. (1978). The complete guide to kayaking. New York: Charles Scribner's & Sons.
- Dal Monte, A. et Leonardi, L. (1975). Functional evaluation of kayak paddlers from biomechanical and physiological view points. International Congress of Biomechanics. Rome.
- Dransart, G. et Gaud-Petit, F. (1976). Canoë-Kayak. Paris: Éditions Amphora s.a.
- Fadiman, K. (1990). The dutting edge. Canoe, 18, 84-87.
- Haught, E. (1989). High tech boat building. Canoe, 17, 16-20.
- Holt, L. E. et Logan, S. M. (1985). The flatwater kayak stroke. NSCA Journal, 7, 4-11.
- Hoyt, C. (1988). Biomechanics and strength training. Sea Kayaker, 4, 60-61.
- Kearney, J., Klein, L. et Mann, R. (1979). An analysis of the olympic flatwater canoe and kayak stroke. Canoe, 7, 18-20.

- Mann, R. V. et Kearney, J. T. (1980). A biomechanical analysis of the olympic-style flatwater kayak stroke. Medecine Science Sports and Exercise, 12, 183-188.
- Matsui et Kobayashi. (1981). Kayaking. Biomechanics VIII-A, 4A, 129-138.
- Morlino, B. (1988). Un siècle d'olympisme. Lyon: La Manufacture.
- Pendergast, D. R., Bushnell, D., Wilson, D. W. et Cerretelli, P. (1989). Energetics of kayaking. European Journal of Applied Physiology, 59, 342-350.
- Plagenhoef, S. (1979). Biomechanical analysis of olympic flatwater kayaking and canoeing. Research Quarterly, 50, 443-459.
- Robert, M. (1988). Fondements et étapes de la recherche scientifique en psychologie. St-Hyacinthe: Edisem.

**ANNEXE A**  
**FORMULAIRE DE CONSENTEMENT**

## UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

## DÉPARTEMENT DES SCIENCES DE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT

- SUJET D'ÉTUDE : Le kayak de vitesse
- BUT : Évaluer l'impact de l'utilisation d'un cale-pied en kayak de vitesse sur la force de traction déployée par le kayakiste.
- MÉTHODE : Le sujet devra faire 4 séries de 3 essais de 10 secondes chacun, suivi d'un repos de 90 secondes entre ceux-ci. Un repos de 4 minutes est accordé entre les séries.
- Les quatre séries se font avec ou sans cale-pied selon le traitement choisi (quatre traitements possibles).
- PROCÉDURES : Le sujet doit: - amener sa propre pagaie;  
- ajuster le siège;  
- s'échauffer hors de l'eau;  
- ajuster les goniomètres aux genoux;  
- s'échauffer sur l'eau;  
- fournir un effort constant;  
- s'étirer à la fin de l'expérimentation.
- DURÉE : Environ une heure
- SÉCURITÉ : - Il y a risques de faibles courbatures musculaires  
- La sécurité aquatique est assurée par un surveillant  
- L'étude se fait en piscine
- RÉMUNÉRATION : Aucune, mais possibilité de consulter les résultats sur demande
- CONSENTEMENT : Par la présente, je consens à participer à cette étude et autorise le chercheur, dont le nom apparaît ci-dessous, à me soumettre à cette procédure expérimentale.

---

 TÉMOIN

---

 SUJET

---

 DATE

---

 CHERCHEUR

**ANNEXE B**  
**CONSIGNES AUX SUJETS**



### RAPPEL DES DIRECTIVES AVANT CHACUNE DES SÉRIES

- Fournir un effort de forte intensité à chacun des essais
- Maintenir la même technique à chacun des essais
- Maintenir une cadence constante
- Rappeler l'importance d'une performance constante

### PROCÉDURE À SUIVRE LORS DE L'EXPÉRIMENTATION

- 15 secondes avant le départ (commence à pagayer lentement)
- prêt (à 3 secondes avant le départ)
- «GO» (on déclenche le chronomètre)
- Début de l'enregistrement 2 secondes après le «GO»
- Durant les 10 secondes, rappel d'un effort constant
- «STOP» (pas d'arrêt de chronomètre)
- 90 secondes de repos (on rappelle les consignes)
- Même processus pour les 2 prochains essais
- 4 minutes de repos (le sujet débarque du kayak)
- On retire ou remet le cale-pied du kayak tandis que le siège demeure en place
- 1 minute avant la deuxième série, on demande au sujet de monter en kayak
- Le même processus recommence à partir du 15 secondes avant le «GO» ,  
etc.
- Après avoir complété la quatrième série, on remercie le sujet et on l'invite  
à consulter nos résultats ultérieurement.

**ANNEXE C**  
**FIGURES**

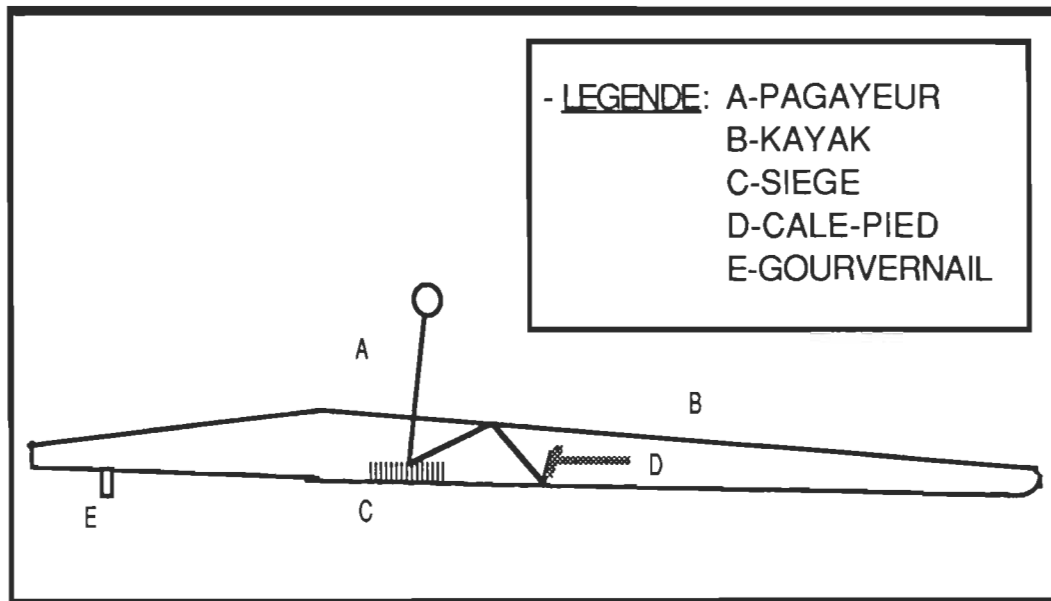


Figure 9. Position du kayakiste (vue latérale).

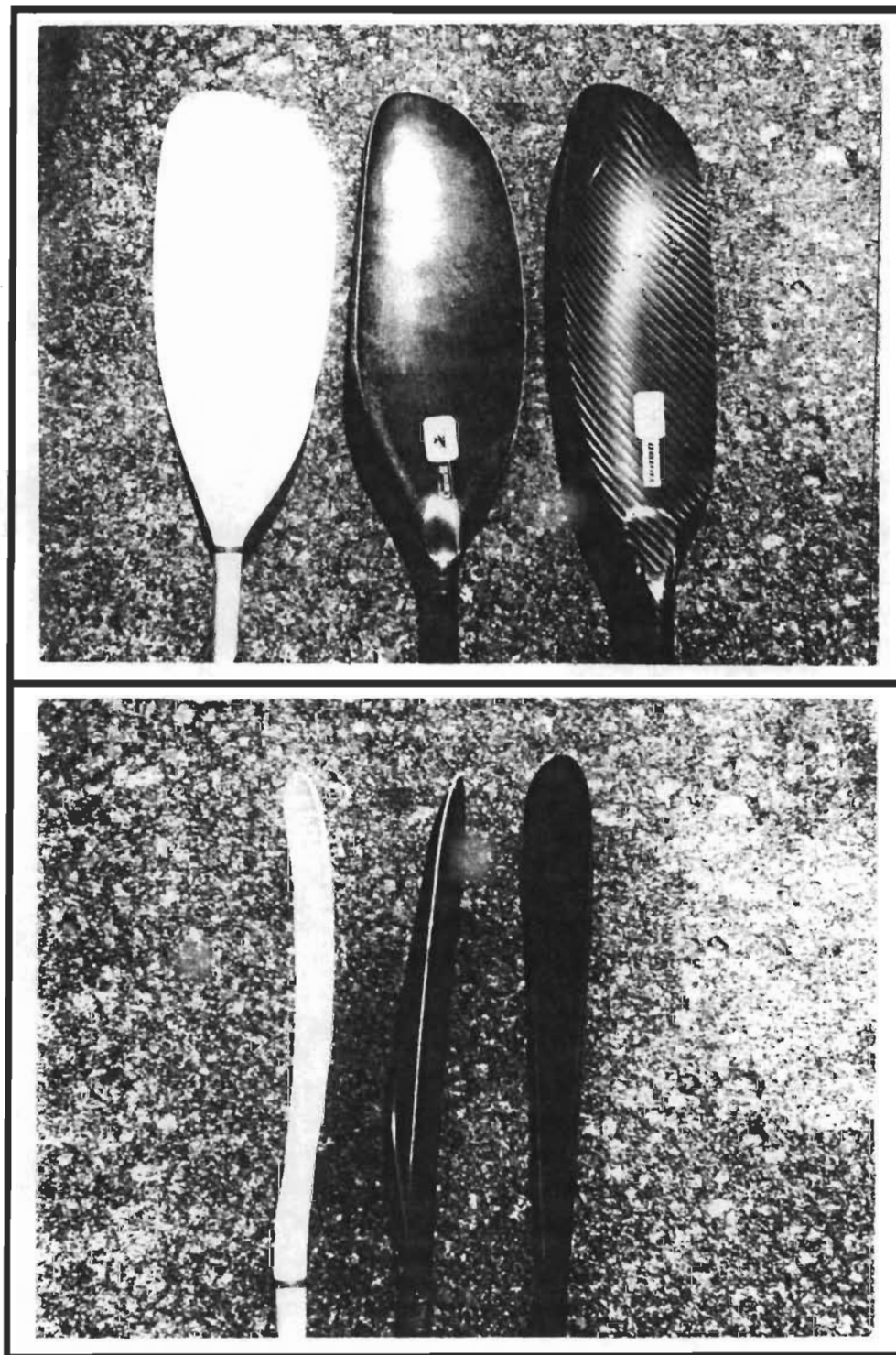


Figure 10. Trois types de pagaies: conventionnelle (forme aplatie), "*wing*" (aile d'avion) et "*turbo*"(forme d'hélice). Ci-dessus, on remarque les vues frontale et latérale de ces types de pagaies.

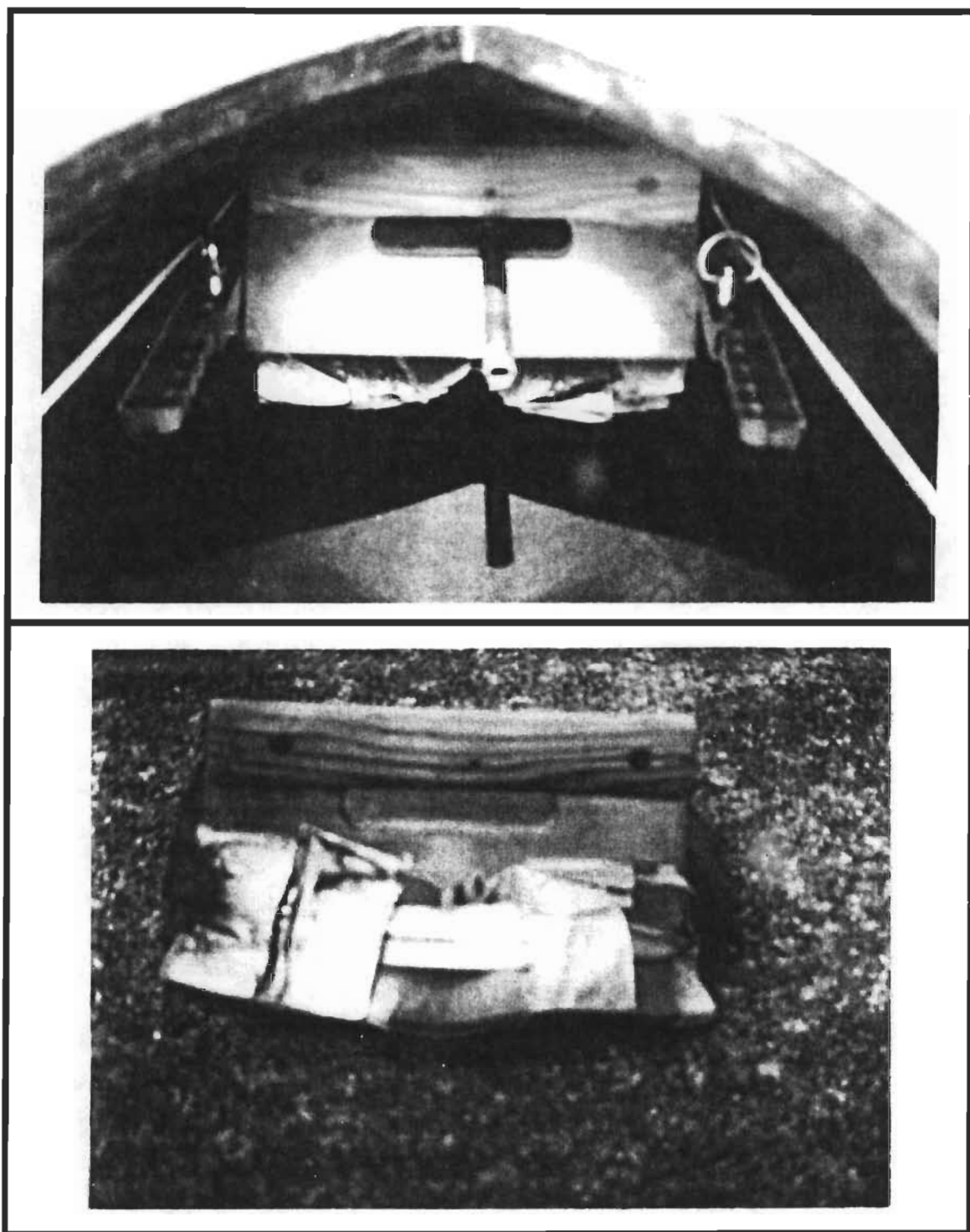


Figure 11. Cale-pied d'un kayak de vitesse (à l'intérieur et à l'extérieur de celui-ci).

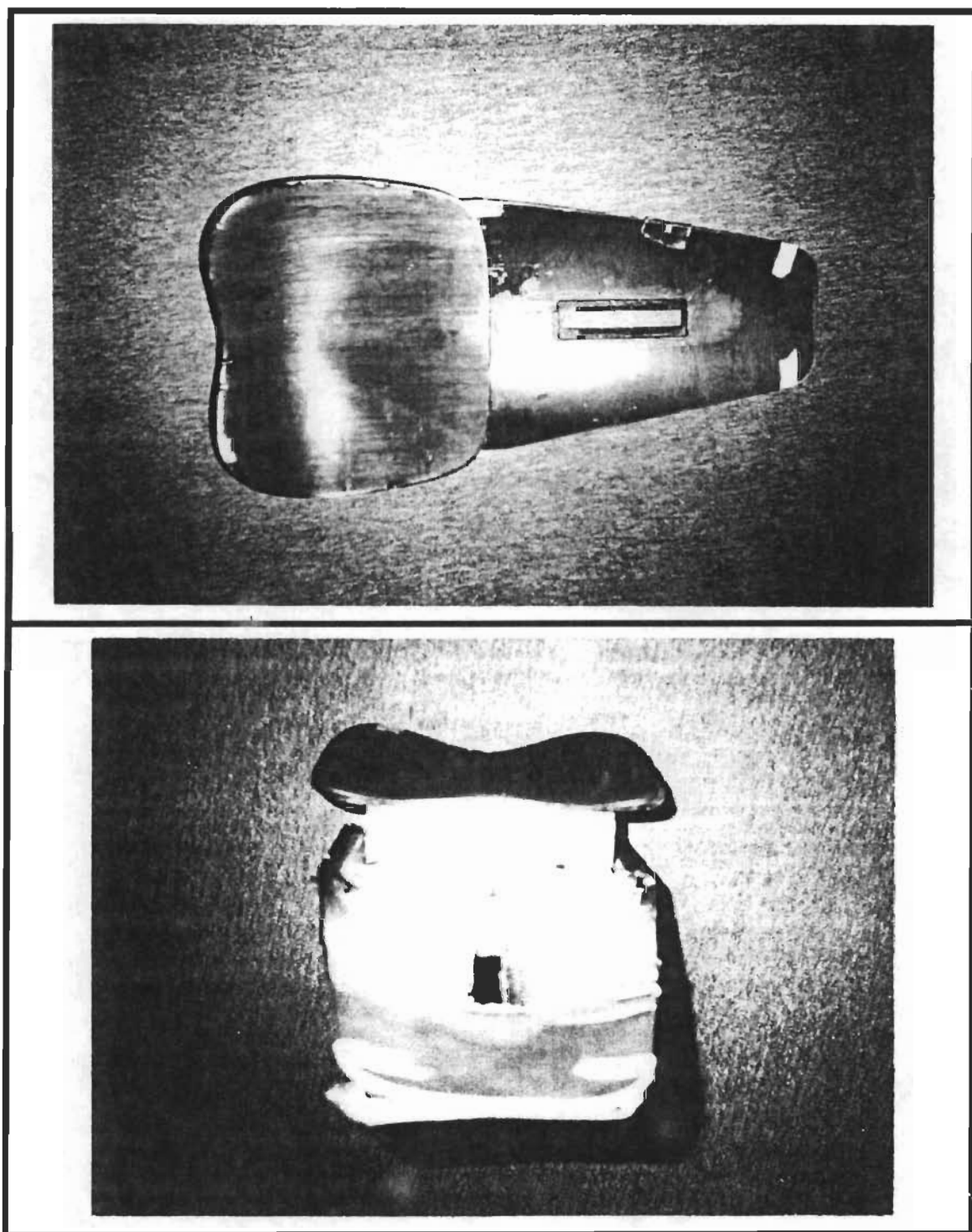


Figure 12. Siège de kayak ayant servi lors de l'expérimentation (vues en plongée et frontale).

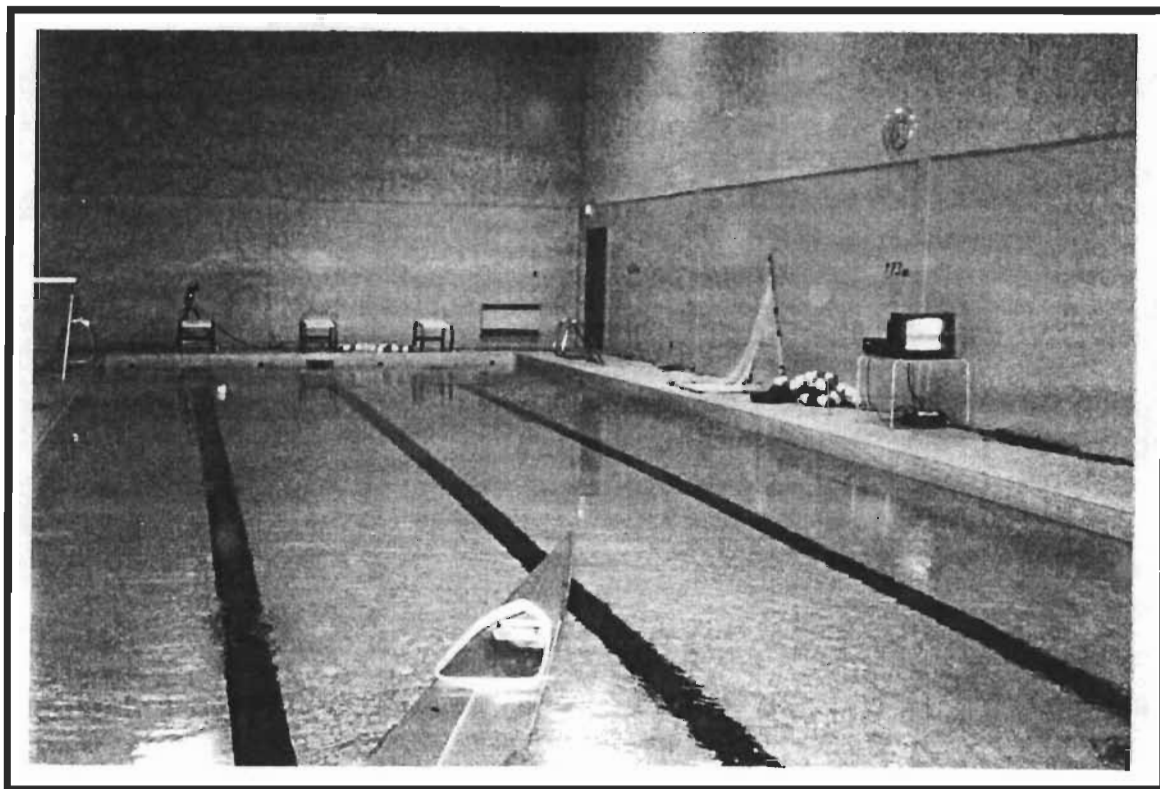


Figure 13. Piscine intérieure où a eu lieu l'expérimentation (vue générale).

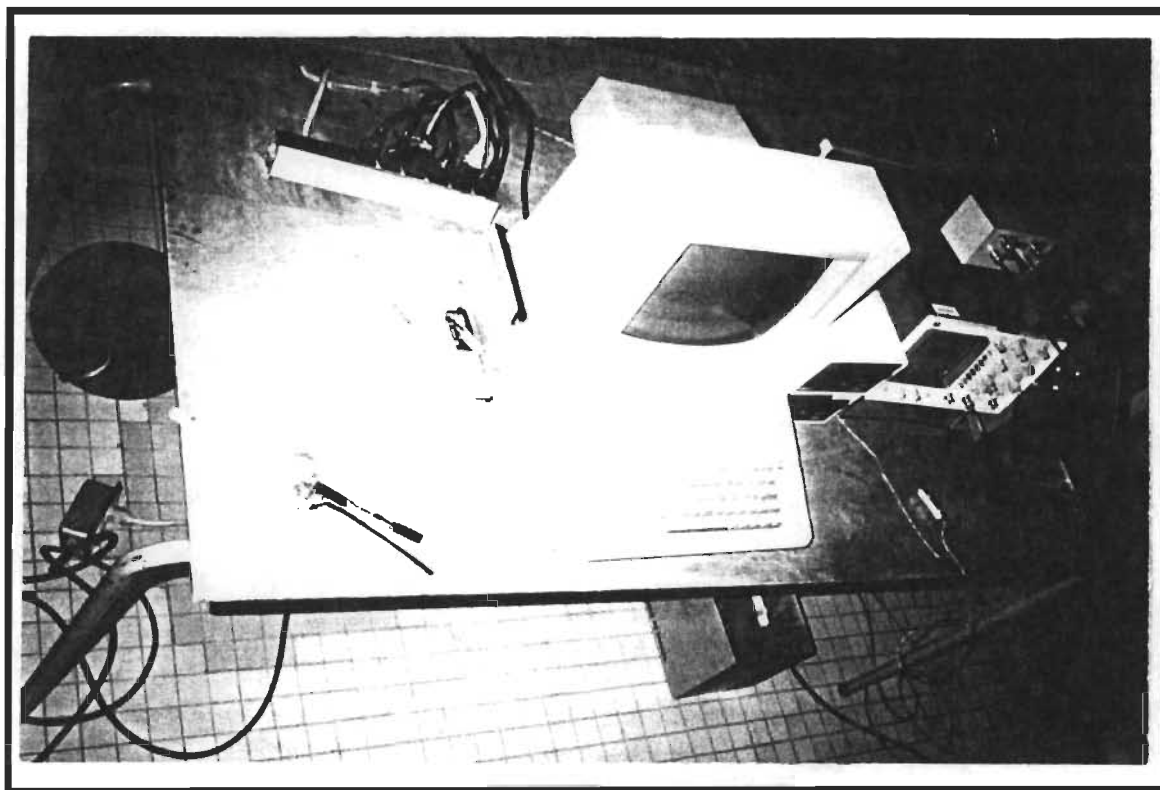


Figure 14. Equipements et appareillages.



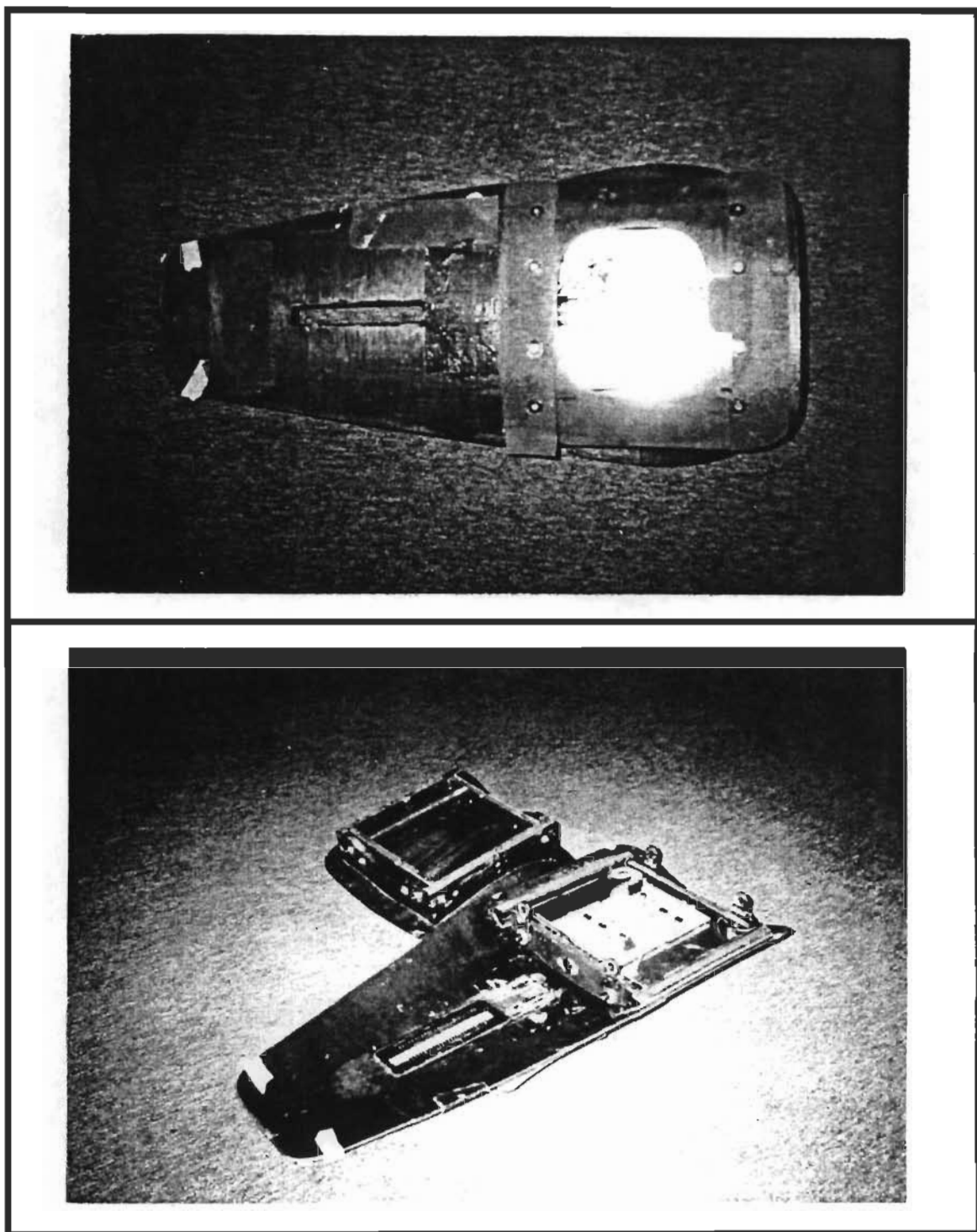


Figure 15. Montage électronique du siège de kayak (vues en plongée et générale).

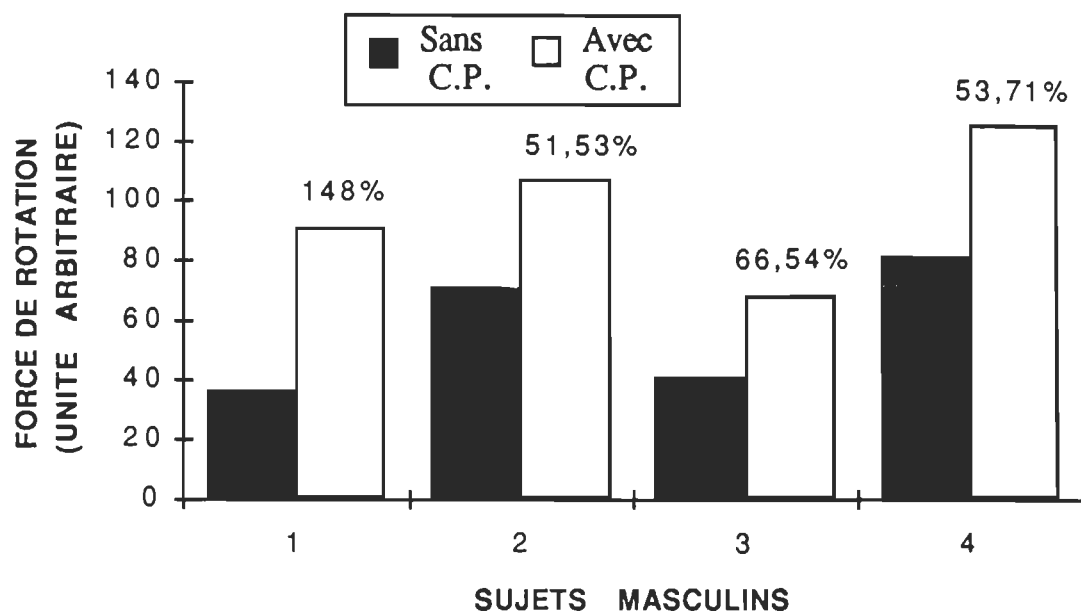


Figure 16a. Forces de rotation moyennes exercées contre le siège (sujets masculins).

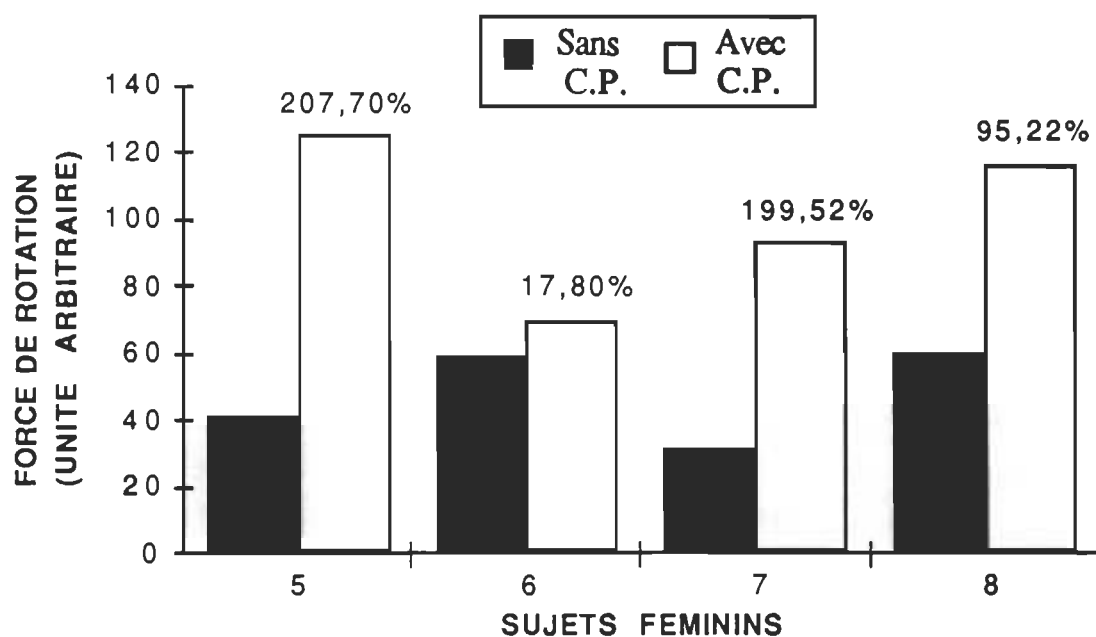


Figure 16b. Forces de rotation moyennes exercées contre le siège (sujets féminins).